

УДК 621.878.23.001

ФОРМУВАННЯ І СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО БУЛЬДОЗЕРА З ШАРНІРНО З'ЄДНАНИМ СЕКЦІЙНИМ ВІДВАЛОМ

ХМАРА Л. А.¹, *д.т.н., проф.*,КРЕКНІН К. А.², *інженер.*

¹ Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 585-26-59, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID 0000-0003-3050-9302

² Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (063) 653-25-99, e-mail: kirmeh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1812-7400

Анотація. Постановка проблеми. Ефективність робочого обладнання РО бульдозерних агрегатів залежить від багатьох показників і в першу чергу від накопичуваних властивостей в період копання та транспортування ґрунту. Одним із основних напрямів удосконалення РО бульдозерів в теперішній час є розвиток і створення нових конструкцій бульдозерів, які дозволяють розширити технологічні можливості, а саме створення відвалів бульдозера з шарнірно з'єднаними бічними секціями БС. Із цього виходить, що проблема дослідження та визначення раціональних конструктивних параметрів РО бульдозерів з БС є актуальною. **Мета статті.** Вказати області раціонального використання запропонованих конструкцій бульдозерних агрегатів і обґрунтувати їх переваги перед відомими технічними рішеннями. **Висновок.** Складені математичні моделі процесу копання ґрунту запропонованим бульдозерним відвалом. Сформовано більш сорока технічних рішень робочого обладнання бульдозерів з шарнірно з'єднаними боковими секціями, в умовах зміни: кількості секцій відвала, ширини, висоти, форм і розмірів секцій відвала.

Ключові слова: бульдозер, математична модель, трисекційний відвал, формування робочого обладнання

ФОРМИРОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО БУЛЬДОЗЕРА С ШАРНИРНО СОЕДИНЕННЫМ СЕКЦИОННЫМ ОТВАЛОМ

ХМАРА Л. А.¹, *д. т. н., проф.*,КРЕКНІН К. А.², *інженер.*

¹ Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (067) 585-26-59, E-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302.

² Кафедра строительных и дорожных машин, Государственного высшего учебного заведения «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепр, Украина, тел. +38 (063) 653-25-99, e-mail: kirmeh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1812-7400.

Аннотация. Постановка проблемы. Эффективность рабочего оборудования РО бульдозерных агрегатов зависит от многих показателей и в первую очередь от накапливаемых свойств в период копания и транспортировки ґрунта. Одним из основных направлений совершенствования РО бульдозеров в настоящее время является развитие и создание новых конструкций бульдозеров, которые позволяют расширить технологические возможности, а именно создание отвалов бульдозера с шарнирно соединенными боковыми секциями БС. Из этого следует, что проблема исследования и определения рациональных конструктивных параметров РО бульдозеров с БС является актуальной. **Цель статьи.** Указать области рационального использования предложенных конструкций бульдозерных агрегатов и обосновать их преимущества перед известными техническими решениями. **Вывод.** Составлены математические модели процесса копания ґрунта предложенным бульдозерным отвалом. Сформировано более сорока технических решений рабочего оборудования бульдозеров с шарнирно соединенными боковыми секциями, в условиях изменения: количества секций отвала, ширины, высоты, форм и размеров секций отвала.

Ключевые слова: бульдозер, математическая модель, трехсекционный отвал, формирование рабочего оборудования

FORMATION AND CREATION OF HIGH-EFFICIENT BULLDOZER WITH HINGED SECTIONAL BLADE

KHMARA L. A. ¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KREKNIN K. A. ², *engineer.*

¹ Department of Building and Travelling of machines (BTM), State Higher Educational Establishment (SHEE) "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", st. Chernyshevsky, 24-A, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (067) 585-26-59, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302.

² Department of Building and road machines. State Higher Educational Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", str. Chernyshevskogo, 24-A, 49005, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (063) 653-25-99, e-mail: kirmeh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1812-7400.

Summary. Raising of problem. The efficiency of working equipment for bulldozer units depends on many indicators and, first of all, on the accumulated properties during excavation and transportation of soil. One of the main directions of working equipment improving of bulldozers is currently the development and creation of new bulldozer designs, which allow to expand the technological capabilities, namely the creation of dump bulldozers with hinged side sections of the side sections. In the conclusion of this the problem of research and determination of rational design parameters for working equipment bulldozers with side sections is urgent. **The purpose of the article.** Identify areas of rational use of the proposed designs of bulldozer aggregates and justify their advantages over known technical solutions. **Conclusion.** Created new mathematical models of the digging process of the soil with new bulldozer blade. More than forty technical solutions for working equipment of bulldozers with pivotally connected side sections have been generated, under the conditions of a change: number of sections of the blade, width, height, shape and size of the blade sections.

Summary. Bulldozer, mathematical model, three-section blade, forming of working equipment

Постановка проблеми. Ефективність робочого обладнання РО бульдозерних агрегатів залежить від багатьох показників і в першу чергу від накопичуваних властивостей в період копання та транспортування ґрунту. Одним із основних напрямів удосконалення РО бульдозерів в теперішній час є розвиток і створення нових конструкцій бульдозерів, які дозволяють розширити технологічні можливості, а саме створення відвалів бульдозера з шарнірно з'єднаними бічними секціями БС. Із цього виходить, що проблема дослідження та визначення раціональних конструктивних параметрів РО бульдозерів з БС є актуальною.

Мета статті. Вказати області раціонального використання запропонованих конструкцій бульдозерних агрегатів і обґрунтувати їх переваги перед відомими технічними рішеннями.

Основний матеріал. При проектуванні відвалу бульдозера, обладнаного шарнірно з'єднаними бічними секціями необхідно визначити раціональні параметри бічних секцій рис. 1. На рис. 2 представлена схема бульдозерного відвала працюючого в традиційному режимі; на рис. 3 - те ж в режимі накопичення ґрунту; на рис. 4 - те ж в грейдерному режимі; на рис. 5 - те ж в шляхопрокладальному режимі.

Основні параметри традиційного відвалу залишаються незмінними: ширина відвалу B ; висота традиційного ріжучого ножа h_T ; висота відвалу H_{OT} ; радіус кривизни відвалу R .

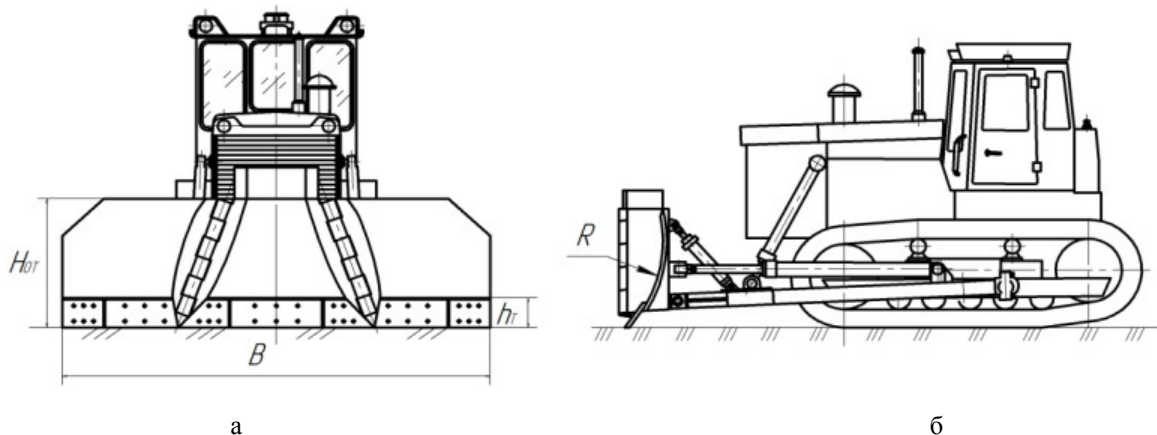


Рис. 1. Схема бульдозера, обладнаного відвалом з боковими секціями: а - фронтальна проекція; б - профільна проекція

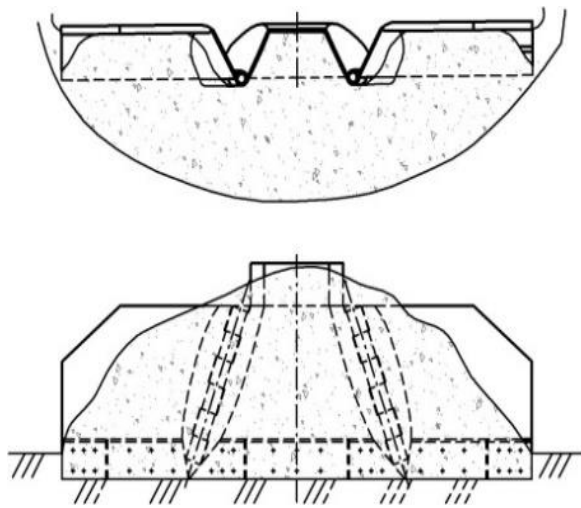


Рис. 2. Работа відвала бульдозера в традиційному режимі

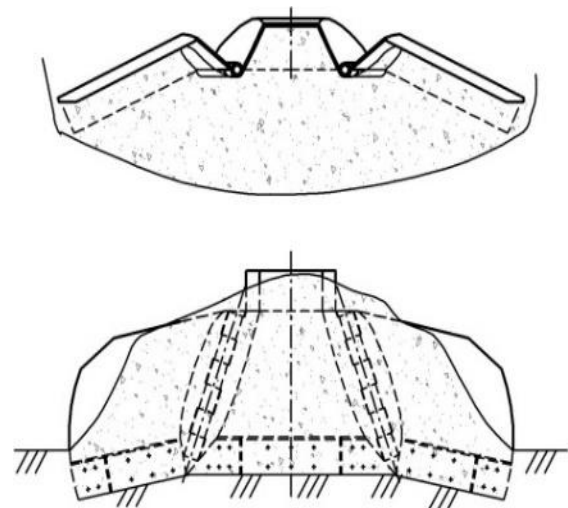


Рис. 3. Работа відвала бульдозера в режимі накопичення ґрунту

В залежності від властивостей ґрунту, що розробляється по таблиці 1 визначаємо основні параметри бічних розширень прорізу в поперечному перерізі: кут бічного розширення ґрунту γ і коефіцієнту бокового розширення ґрунту $k_{бок}$.

Формування нових машин і їх робочих органів (РО) на основі розчленування математичної моделі процесу на складові

елементи з наступним їх об'єднанням в нову систему - один із ефективних методів прискорення творчого пошуку найбільш досконалого технічного рішення (ТР). Такий метод найбільш раціонально використовувати як для вдосконалення традиційних землерийних машин, так і при формуванні машин, заснованих на використанні нових фізичних ефектів [1].

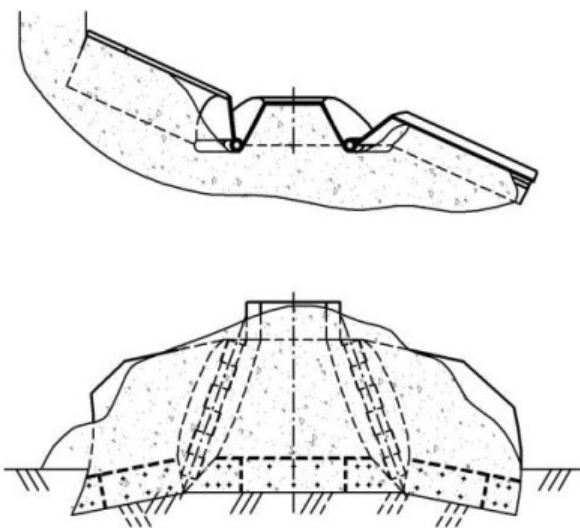


Рис. 4. Работа відвала бульдозера в грейдерному режимі

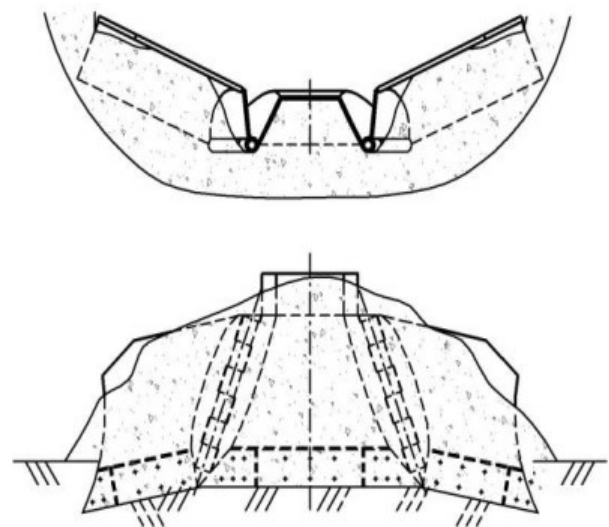


Рис. 5. Работа відвала бульдозера в шляхопрокладальному режимі

Синтез РО землерийних машин є один з найбільш складних і важливих моментів у формуванні нових машин, який в результаті забезпечує підвищення якості новостворюваних виробів і їх випуск на рівні кращих світових зразків. Завдання синтезу при формуванні високоефективних РО можна умовно розділити на два основних типи [1]. Перший тип - синтез принципу дії, який полягає в пошуку та виборі

найбільш ефективного набору фізичних ефектів і явищ, за допомогою яких можна реалізувати робочу функцію виробу. Другий тип - синтез нових ТР для заданого принципу дії, що полягає в пошуку та виборі нової, більш раціональної сукупності конструктивних елементів і їх ознак в рамках заданого принципу дії.

Синтез нових ТР проілюструємо на прикладі формування РО бульдозера з бічними секціями (БС). Зробимо складання математичних моделей процесу копання ґрунту пропонуваним бульдозерним відвалом.

В якості математичної моделі процесу може бути використано вираз у вигляді суми ряду діючих опорів, зв'язок між якими визначається структурою функціонування відвалу. Якщо ґрунт представлений сипучим середовищем, що володіє зчепленням, то модель, яка визначає опір відділенню ґрунту в процесі копання, в загальному випадку може бути представлена у вигляді виразу [1]:

$$P_K = P_p(X_{in}) + P_n(X_{ik}) + P_{np}(X_{ik}), \quad (1)$$

де P_p - опір різанню; P_n - опір руху ґрунту в призмі;

P_{np} - опір призми волочіння.

Математичну модель, складену таким чином, можна розчленувати на ряд приватних складових:

$$P_p = P_{p.нож} + P_{зат}; \quad (2)$$

$$P_n = P_{отв} + P_{зр}; \quad (3)$$

$$P_{np} = P_{np.зр}, \quad (4)$$

де $P_{p.нож}$ - опір на передній поверхні ножа з урахуванням пригрузки на вирізаєму стружку; $P_{зат}$ - опір на майданчику затуплення леза; $P_{отв}$ - опір пересуванню стружки ґрунту по відвалу; $P_{зр}$ - опір тертя ґрунту об ґрунт при русі пласта всередині призми; $P_{np.зр}$ - опір сил на розчленовані

математичні моделі, що характеризують процес копання ґрунту відвалом бульдозера $P_{p.нож}$, $P_{зат}$, $P_{отв}$, $P_{зр}$, $P_{np.зр}$, можна сформулювати шляхи вдосконалення та модернізації РО в цілому.

Аналіз здійснюється з метою оптимізації, наприклад, мінімізації цільової функції і її складових. Для зменшення величини $P_{p.нож}$ доцільно здійснити наступні заходи: зменшити ширину пласта, зрізаного відвалом; здійснювати управління кутом різання в процесі копання; знизити кути внутрішнього і зовнішнього тертя ґрунтів.

Аналіз математичної моделі $P_{зат}$ призводить до висновку про необхідність: зменшити довжину ріжучого ножа; зменшити майданчик затуплення; зменшити кути різання і затуплення відвалу.

Аналіз математичної моделі $P_{отв}$ показує, що для зменшення цієї складової необхідно: збільшити радіус кривизни відвалу.

Аналіз складових $P_{зат}$, $P_{отв}$, $P_{зр}$, $P_{np.зр}$ призводить до висновку про доцільність: здійснювати заходи щодо зниження кутів внутрішнього і зовнішнього тертя ґрунтів.

Розроблений метод формування нових ТР РО землерийних машин дозволяє синтезувати різні конструкції відвалів бульдозера, обладнаних БС, загальна схема формування яких представлені в таблиці 1.

На рис. 6 наведено приклад форми вирізуємої стружки ґрунту в залежності від положення бічних секцій відвалу.

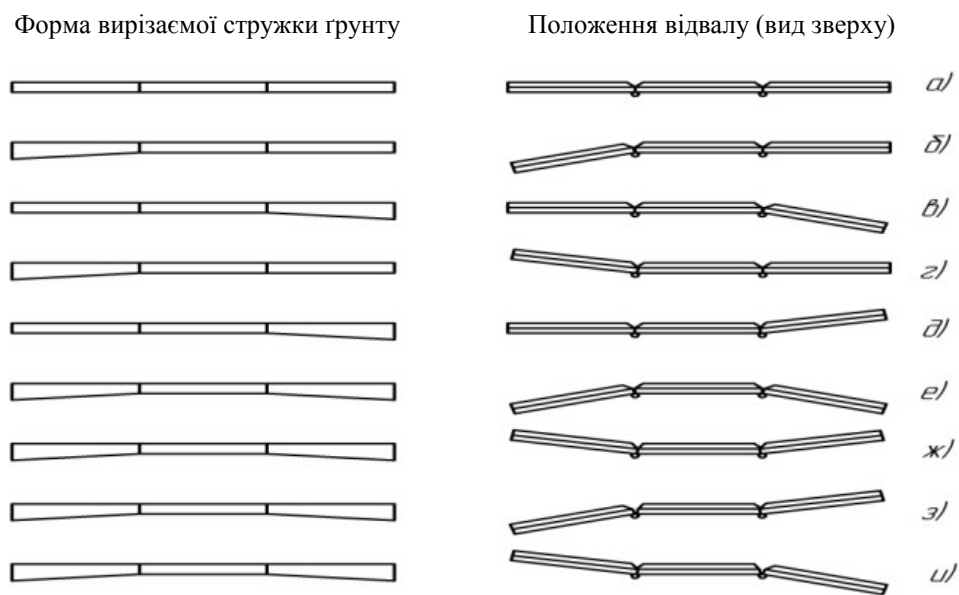
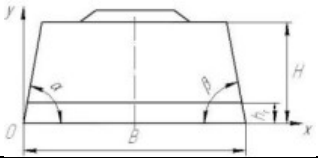
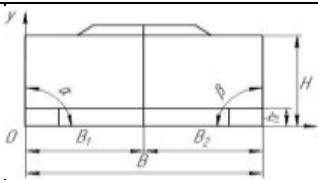
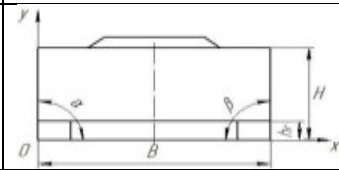
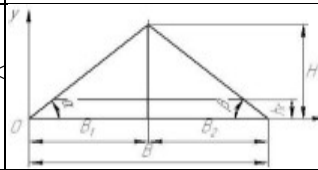
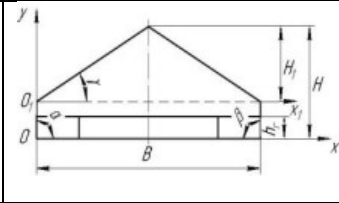
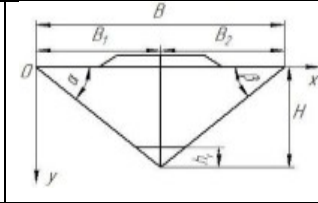
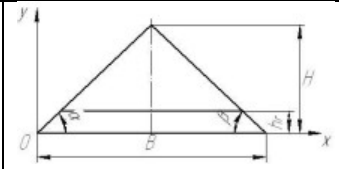
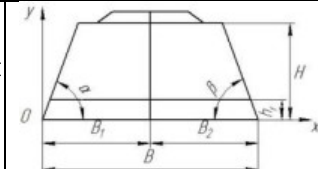
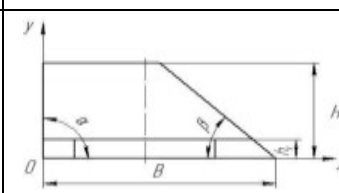
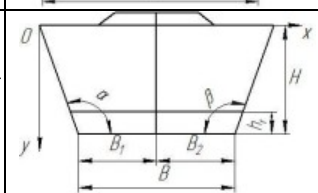
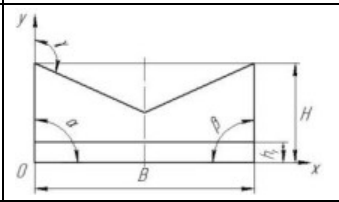
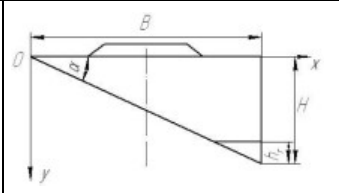
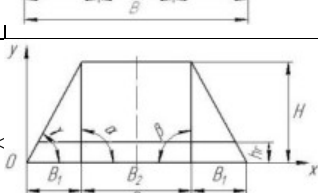
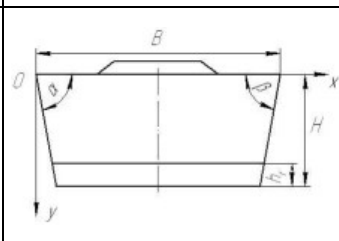
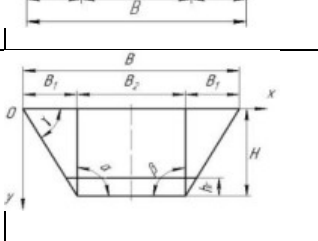
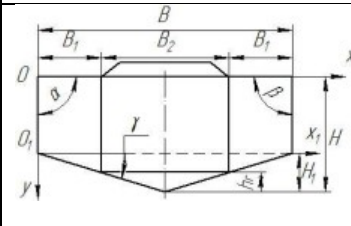
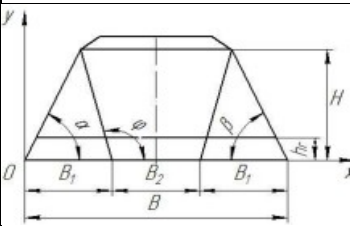
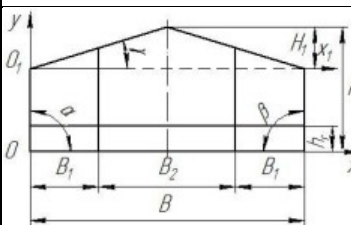
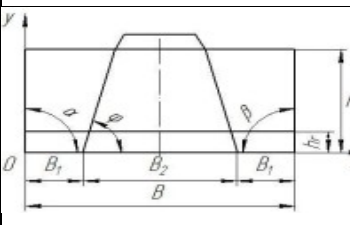
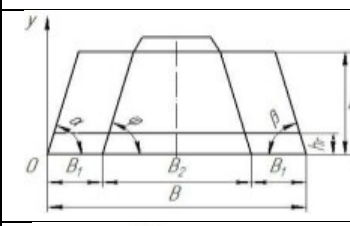
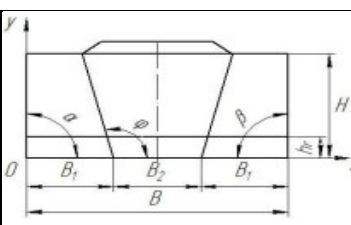
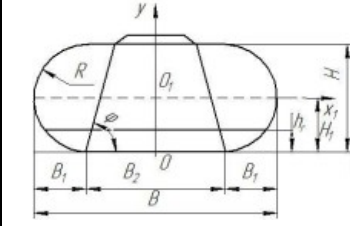
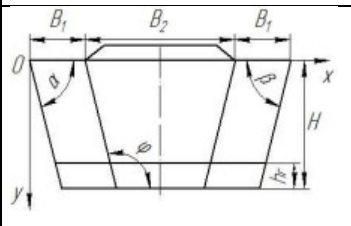


Рис. 6. Форма вирізаємої стружки ґрунту

Таблиця 1

Загальна схема формування робочих органів бульдозера з БС

№ п/п	Умови формування робочого органу	Схема робочого органу бульдозера	1	2	3
			8	В; Н; $\alpha < \pi/2$; $\beta < \pi/2$;	
			Відвали з двома секціями		
			9	В; В ₁ ; В ₂ ; Н; $\alpha = \pi/2$; $\beta = -\pi/2$.	
1	В; Н; $\alpha = \pi/2$; $\beta = -\pi/2$.		10	В; В ₁ ; В ₂ ; Н; $\alpha < \pi/2$; $\beta < \pi/2$;	
2	OO ₁ > 0; $\alpha = \pi/2$; $\beta = -\pi/2$; $\gamma < \pi/2$;		11	В; В ₁ ; В ₂ ; Н; $\alpha < \pi/2$; $\beta < \pi/2$;	
3	В; Н; $\alpha < \pi/2$; $\beta < \pi/2$;		12	В; В ₁ ; В ₂ ; Н; $\alpha < \pi/2$; $\beta < \pi/2$;	
4	В; Н; $\alpha = \pi/2$; $\beta < \pi/2$;		13	В; В ₁ ; В ₂ ; Н; $\alpha > \pi/2$; $\beta > \pi/2$.	
5	В; Н; $\alpha = \pi/2$; $\beta = -\pi/2$; $\gamma > \pi/2$;		Відвали з трьома секціями		
6	В; Н; $\alpha < \pi/2$;		14	В; В ₁ ; В ₂ ; Н; $\alpha = \pi/2$; $\beta = -\pi/2$.	
7	В; Н; $\alpha < \pi/2$; $\beta < \pi/2$;		15	В; В ₁ ; В ₂ ; Н; $\alpha = \pi/2$; $\beta = -\pi/2$; $\gamma < \pi/2$;	
			16	В; В ₁ ; В ₂ ; Н; $\alpha = \pi/2$; $\beta = -\pi/2$; $\gamma < \pi/2$;	

1	2	3	1	2	3
17	$B; B_1; B_2; H;$ $\alpha < \pi/2;$ $\alpha = \pi/2;$ $\beta = -\pi/2;$ $\gamma < \pi/2.$		21	$B; B_1; B_2; H;$ $\alpha < \pi/2;$ $\beta < \pi/2;$ $\varphi > \pi/2;$	
18	$B; B_1; B_2; H;$ $\alpha = \pi/2;$ $\beta = -\pi/2;$ $\gamma < \pi/2.$		22	$B; B_1; B_2; H;$ $\alpha = \pi/2;$ $\beta = -\pi/2;$ $\varphi < \pi/2.$	
Відвали з трьома секціями, закріпленими під кутом			23	$B; B_1; B_2; H;$ $\alpha < \pi/2;$ $\beta < \pi/2.$ $\varphi < \pi/2.$	
19	$B; B_1; B_2; H;$ $\alpha = \pi/2;$ $\beta = -\pi/2;$ $\varphi > \pi/2.$		24	$B; B_1; B_2; H;$ $R;$ $\alpha < \pi/2;$ $\beta < \pi/2;$ $\varphi > \pi/2.$	
20	$B; B_1; B_2; H;$ $\alpha < \pi/2;$ $\beta < \pi/2;$ $\varphi > \pi/2;$				

Висновки. Використання методу поєднання математичного моделювання робочого процесу, розчленування математичних моделей процесу і функціонального аналізу елементів моделі дозволяє значно прискорити формування нових високоефективних РО бульдозерів. Сформовано понад 40 ТР РО бульдозерів з шарнірно з'єднаними БС, в умовах зміни: кількості секцій відвалу, ширини, висоти,

форм і розмірів секцій відвалу. Із загальної кількості можливих варіантів схем РО, які визначаються методами комбінаторного аналізу, на підставі запропонованого методу встановлено, що найбільший ефект дають системи з БС, рішення з інтенсифікаторами комбінованого принципу дії. Такі рішення не вимагають значних матеріальних витрат і дозволяють трансформувати їх в адаптуючи і багатоцільові РО.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Машины для земляных работ: Учебник / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, М. П. Скоблюк та ін.; за заг. ред. д.т.н., проф. Л. А. Хмари та д.т.н., проф. С. В. Кравця. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 548 с.
2. Машины для земляных работ: Учебный пособие / 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.
3. Хмара Л. А. Исследование процесса копания и повышение эффективности рабочих процессов отвалов бульдозеров / Л.А. Хмара, В.Б. Коротких // Повышение эффективности землеройных машин. Материалы респ. конф. - Воронеж, - 1992. – с. 11.
4. Хмара Л. А. Определение производительности бульдозеров с учетом времени на операцию заглабления отвала / Л.А. Хмара, В.Б. Коротких // Научные основы строительства. Сборник научных трудов. - Киев, -1993 –с. 207.
5. Хмара Л. А. Научные основы формирования многокомпонентных рабочих органов землеройных машин. Интенсификация рабочих процессов строительных машин: Сб. Науч. трудов. Вып. 4. Машины для земляных работ. – Дн-вск: ПГАСА, 1998. – С. 14 – 21.

6. Хмара Л. А., Деревянчук М.І., Крекнін К.А. Аналітичне визначення об'єму призми волочіння трисекційних бульдозерних відвалів в накопичувальному режимі роботи // Сб. науч. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: подъемно – транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Выпуск 63, 2011. – С. 36 – 42.
7. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 263с.
8. Хмара Л. А. Теоретичні дослідження форми і об'єму призми волочіння трисекційних відвалів в накопичувальному режимі роботи / Л. А. Хмара, М. І. Деревянчук, М. В. Кульчицький // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Вып. 46. – Дн-ск: ПГАСА, 2008. – С. 39 – 49.

REFERENCES

1. Mashini dlya zemlyanih robit: Pidruchnik [Machines for earthmovings: Textbook]/ L. A. Khmara, S. V. Kravets, M. P. Skoblyuk ta in.; za zag. red. d.t.n., prof. L. A. Khmari ta d.t.n., prof. S. V. Kravtsya. - H.: HNADU, 2014. - 548 p.
2. Mashini dlya zemlyanih robit: Navchalniy posibnik [Machines for earthmovings: train aid] / Khmara L. A., Kravets S. V., NICHKE V. V., Nazarov L. V., Skoblyuk M. P., Nikitin V. G. Pid zagalnoyu redaktsieyu prof. Khmara L. A. ta prof. Kravtsya S. V. Rivne -Dnipropetrovsk - Kharkiv. 2010. - 557 p.
3. Khmara L. A. *Issledovaniya prothesa kopaniya i povisheniya affektivnosti rabochih protsesov otvalov buldozerov* [Research digging process and improve the efficiency of work processes dozer blade]/ L. A. Khmara, V.B. Korotkih // Povishenie ejjektivnosti zemlerojnih mashin. Materialu resp. konf., Voroneg, 1992. – 11 p.
4. Khmara L. A. *Opreделение proizvoditelnosti buldozerov s uchetom vremeni na operatsiyu zaglubleniya otvala* [Determination bulldozers performance, taking into account the time for the operation of penetration blade]/ L.A. Khmara, V.B. Korotkih // Nauchnie osnovu stroitelstva. Sb. nauch. tr. – Kiev, - 1993 – 207 p.
5. Khmara L. A. *Nauchnie osnovi formirovaniya mnogokomponentnuh rabochih organov zemlerojnuh mashin.* [Scientific bases of formation of the multicomponent working bodies of earth-moving machines.] Intensifikaciya rabochih processov stroitelnih mashin: . Sb. nauch. tr. Vip. 4. Mashini dlya zemljnih robit. - Dn-vsk: PGASA, 1998. – pp. 14 – 21.
6. Khmara L. A. *Analityichne vyiznachennja obemu pryizmu volochinnja trusekciynih buldozernyih vidvaliv v nakopyichuvalnomu reshymi roboty* [Theoretical studies of volume of prisms three-section bulldozer drawing heaps in accumulation mode] / Khmara L. A., Derevjanchuk M. I., Kreknin K. A. // Sb. nauch. tr. Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Vyip. 63. – Dn-vsk: PGASA, 2011. – pp. 36 – 42.
7. Tihomirov V.B. *Planirovanie i analiz eksperimenta* [Planning and analysis of the experiment] – М.: Legkaya industriya, 1974. – 263 p.
8. Khmara L. A. *Teoretyichni doslidzhennja formy i obemu pryizmu volochinnja trusekciynih vidvaliv v nakopyichuvalnomu reshymi roboty* [Theoretical studies of shape and volume of prisms three-section drawing heaps in accumulation mode] / Khmara L. A., Derevjanchuk M. I., Kulchitskij M. V. // Sb. nauch. tr. Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Vyip. 33. – Dn-vsk: PGASA, 2008. – pp. 39 – 49.