

УДК 621.878.25

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОΠΑНИЯ ГРУНТУ ОДНОКІВШЕВИМ ЕКСКАВАТОРОМ ІЗ ТЕЛЕСКОПІЧНИМ РОБОЧИМ ОБЛАДНАННЯМ

ХМАРА Л. А. ¹, *д. т. н., проф.*,

БАЄВ С. В. ², *д. т. н., проф.*,

ДАХНО О. О. ^{3*}, *асп.*

¹ Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

² Кафедра вищої математики, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 744-14-03, e-mail: baev1939@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5416-8261

^{3*} Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (066) 044-84-48, e-mail: olegdakhno@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6916-4327

Анотація. *Постановка проблеми.* Виконання земляних робіт одноківшевим екскаватором зазвичай складається з трьох основних операцій: відділення від масиву та захват ґрунту, його переміщення і потім укладення в споруду або відвал [3; 5]. Розрахунки продуктивності та встановлення робочих розмірів екскаваторів під час їх проектування безпосередньо пов'язані з поняттям екскаваторного забою та об'ємом розроблюваного ґрунту. Методика визначення об'єму розроблюваного ґрунту та розрахунок забою відомі та широко застосовуються під час проектування традиційного робочого обладнання [1 – 3; 11; 14]. Наразі, у зв'язку зі збільшенням обсягів земляних робіт, збільшились і обсяги виробництва машин та різноманітного робочого обладнання для цих робіт. Особливої уваги заслуговують екскаватори, наприклад, оснащені телескопічним РО, а саме телескопічної стрілою та рукояттю [5; 7 - 9; 10; 12; 13; 14]. З використанням такого робочого обладнання досягається значне зміння геометричних параметрів екскаватора [2 – 4; 6], при цьому методика розрахунку робочого обладнання зі змінними геометричними параметрами та об'єму розроблюваного ним ґрунту відсутня. *Мета статті* - формування методики визначення теоретичного об'єму копання ґрунту одноківшевим екскаватором зі змінними геометричними параметрами робочого обладнання на прикладі конструкцій телескопічного робочого обладнання, запропонованих авторами [7 - 9].

Висновок. Застосування робочого обладнання з двосекційною телескопічною стрілою і традиційною рукояттю дозволяє збільшити глибину копання на 17,7 % виштовхуванням одного телескопа стріли та на 36 % у разі виштовхування обох телескопів стріли, при цьому досягається збільшення об'єму ґрунту на 29 % та 51 %, відповідно під час копання з однієї стоянки екскаватора. Проведені розрахунки за запропонованою методикою інтегральних обчислень підтверджують ефективність конструкції. Використання запропонованого робочого обладнання дозволяє збільшити об'єм розроблюваного ґрунту з однієї стоянки екскаватора, а також розширити функціональні можливості та діапазон виконуваних робіт.

Ключові слова: одноківшевий екскаватор, телескопічне робоче обладнання, визначення об'єму копання ґрунту.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОПАНИЯ ГРУНТА ОДНОКОВШОВЫМ ЭКСКАВАТОРОМ С ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМ РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

ХМАРА Л. А. ¹, *д. т. н., проф.*,

БАЕВ С. В. ², *д. т. н., проф.*,

ДАХНО О. А. ^{3*}, *асп.*

¹ Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

² Кафедра высшей математики, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 744-14-03, e-mail: baev1939@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5416-8261

^{3*} Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (066) 044-84-48, e-mail: olegdakhno@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6916-4327

Аннотация. Постановка проблемы. Производство земляных работ одноковшовым экскаватором обычно состоит из трех основных операций: отделение от массива и захват грунта, его перемещение и последующая укладка в строение или отвал [3; 5]. Расчеты производительности и установление рабочих размеров экскаваторов при проектировании непосредственно связаны с понятием экскаваторного забоя и объемом разрабатываемого грунта. Методика определения объема разрабатываемого грунта и расчет забоя известны и широко применяются при проектировании традиционного рабочего оборудования [1–3; 11; 14]. В настоящее время, в связи с повышением объемов земляных работ, увеличились и объемы производства машин и разнообразного рабочего оборудования для этих работ. Особого внимания заслуживают экскаваторы, например, оснащенные телескопическим рабочим оборудованием а именно телескопической стрелой и рукоятью [5; 7–9; 10; 12–14]. При использовании такого рабочего оборудования достигается значительное изменение геометрических параметров экскаватора [2 - 4; 6], при этом методика расчета рабочего оборудования с изменяемыми геометрическими параметрами и объема разрабатываемого им грунта отсутствует. **Целью статьи** является формирование методики определения теоретического объема копания грунта одноковшовым экскаватором с изменяемыми геометрическими параметрами рабочего оборудования на примере конструкций телескопического рабочего оборудования, предложенного авторами [7 - 9].

Вывод. Применение рабочего оборудования с двухсекционной телескопической стрелой и традиционной рукоятью позволяет увеличить глубину копания на 17,7 % при выдвигении одного телескопа стрелы и на 36 % при выдвигении двух телескопов стрелы, при этом достигается увеличение объема разрабатываемого грунта на 29 % и на 51 % соответственно при копании с одной стоянки экскаватора. Проведенные расчеты по предложенной методике интегральных исчислений подтверждают эффективность конструкции. Использование предложенного рабочего оборудования позволяет увеличить объем разрабатываемого грунта с одной стоянки, а также расширить функциональные возможности и диапазон производимых работ.

Ключевые слова: одноковшовый экскаватор, телескопическое рабочее оборудование, объем разрабатываемого грунта.

THEORETICAL FOUNDATIONS OF ONE-BUCKET EXCAVATOR DIGGING SOIL WITH TELESCOPIC WORKING EQUIPMENT

KHMARA L.A.¹ *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

BAYEV S.V.² *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

DAKHNO O.O.^{3*} *Postgraduate*

¹ Department of Building and road machines, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

² Department of Higher mathematic, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 744-14-03, e-mail: baev1939@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5416-8261

^{3*} Department of Building and road machines, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (066) 044-84-48, e-mail: olegdakhno@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6916-4327

Summary. Problem statement. Production of excavation of one-bucket excavator usually consists of three basic operations: separating from the array and capture of soil, its movement and the subsequent stacking in structure or dump [3; 5]. The calculation of productivity and the establishment of working sizes of excavators in the design are directly related with the concept of excavating slaughtering and the volume of soil digging. Method of determination of volume of digging soil and calculation of slaughtering are known and widely used in the design of the traditional working equipment [1-3; 11; 14]. At present time the volume of machinery production various working equipment are increased, in connection of increase of volume excavation. Special attention should be given to excavators, equipped with a telescopic working equipment for example, namely by telescopic boom and handle [5; 7– 9; 10; 12– 14]. Significant changing of geometrical parameters of excavator is achieved using this working equipment [2–4; 6], where in the method of calculating of the working equipment with variable geometrical parameters and volume of the soil digging is absent. **The purpose** of the article is a forming of methods of determining of the theoretical volume of digging of soil with one-bucket excavator with variable geometrical parameters of the working equipment, for example, of the contraction of the telescopic working equipment proposed by the authors [7– 9].

Conclusion. The use of working equipment with a two-section telescopic boom and a traditional handle allows to increase the depth of digging by 17,7 % when moving one telescope boom and 36 % when two telescope boom moving

while achieving the increase of volume of soil digging on 29 % and on 51 %, accordingly when digging from one working point of excavator. The analyzed calculations by the proposed method of integral calculus confirm the effectiveness of contractions. Using the proposed working equipment can increase the volume of soil digging from one working point as well as extend the functional possibility and a range of produced works.

Key words: one-bucket excavator, telescopic working equipment, volume of soil digging.

Постановка проблеми. Виконання земляних робіт однокішшевим екскаватором зазвичай складається з трьох основних операцій: відділення від масиву та захват ґрунту, його переміщення і потім укладення в споруду або відвал [3; 5].

Розрахунки продуктивності та встановлення робочих розмірів екскаваторів під час їх проектування безпосередньо пов'язані з поняттям екскаваторного забою та об'ємом розроблюваного ґрунту. Методика визначення об'єму розроблюваного ґрунту та розрахунок забою відомі та широко застосовуються під час проектування традиційного робочого обладнання [1 – 3; 11; 14].

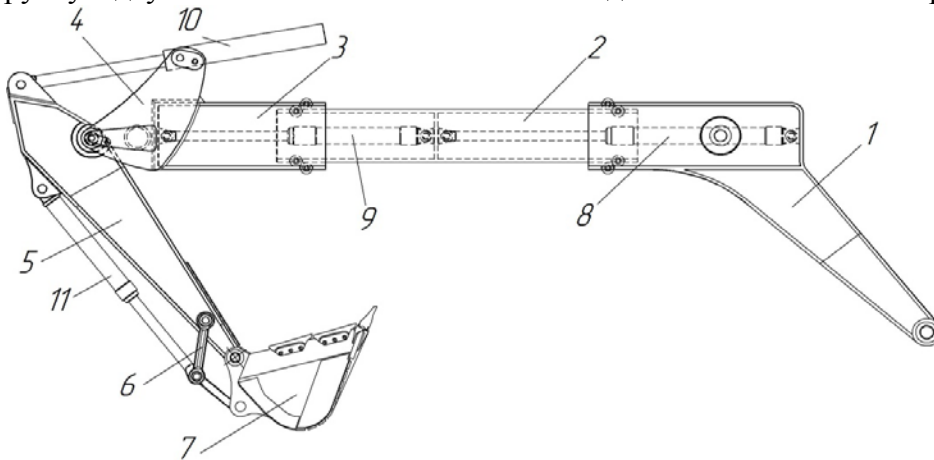
Наразі, у зв'язку зі збільшенням обсягів земляних робіт, збільшились і обсяги виробництва машин та різноманітного робочого обладнання (РО) для цих робіт. Особливої уваги заслуговують екскаватори, наприклад, оснащені телескопічним РО, а саме телескопічною стрілою та рукояттю [5; 7 – 9; 10; 12 – 14]. З використанням такого РО досягається значне зміння геометричних параметрів екскаватора [2 – 4; 6], при цьому методика розрахунку РО зі змінними геометричними параметрами та об'єму розроблюваного ним ґрунту відсутня.

Мета статті - формування методики визначення теоретичного об'єму копання ґрунту однокішшевим екскаватором зі змінними геометричними параметрами РО, на прикладі конструкцій телескопічного РО, запропонованих аваторами [7 – 9] (рис. 1).

Виклад основного матеріалу. Під екскаваторним забоем розуміють робочу зону екскаватора, яка включає в себе частину ґрунтового масиву, розроблюваного з даної стоянки екскаватора, та майданчик для встановлення екскаватора та транспортних машин. Якщо розробка ґрунту ведеться за безтранспортною схемою, до екскаваторного забою належить також майданчик із відвалом ґрунту, укладеного з даної стоянки екскаватора.

Розміри та форма забою залежать від типу та робочих розмірів екскаватора та транспортних машин, а також від розмірів земляної споруди.

Обрис поверхні ґрунтового масиву визначається робочими траєкторіями ковша. Вони змінюються у міру виймання ґрунту, але для характеристики форми та розмірів забою достатньо зафіксувати кінцеві траєкторії, обмежуючі об'єм ґрунту, розроблюваного з однієї стоянки екскаватора.



a

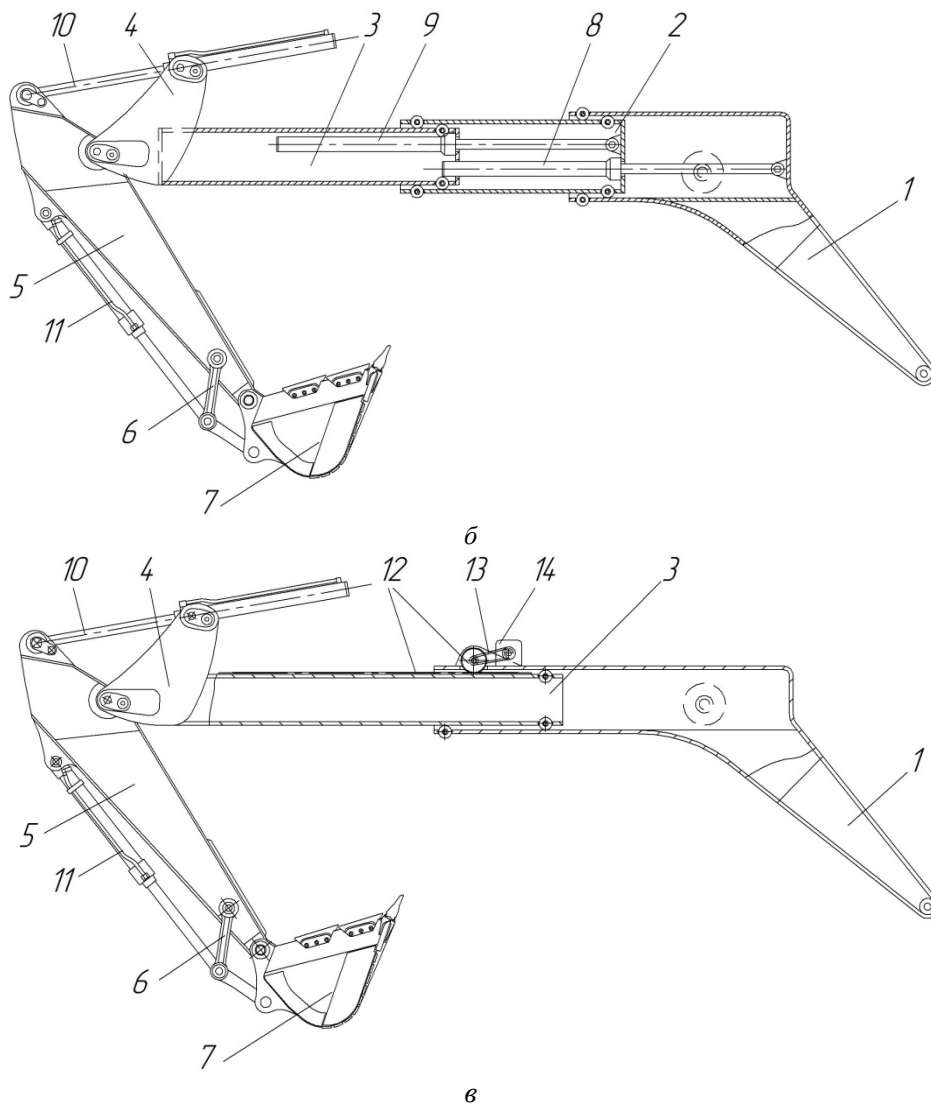
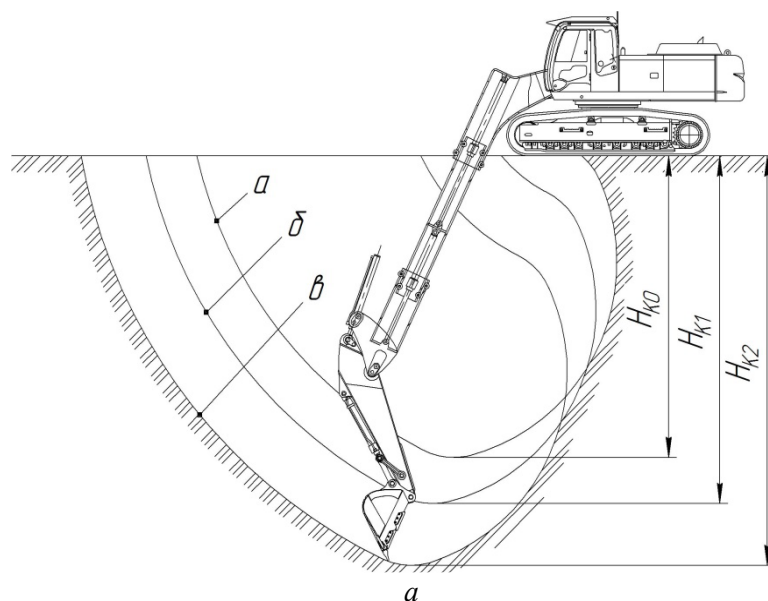


Рис. 1. Конструкції телескопічного робочого обладнання при виштовхнутих телескопічних секціях: 1 – основна секція стріли; 2 – середня телескопічна секція; 3 – кінцева телескопічна секція; 4 – кронштейн для кріплення рукояті та гідроциліндра керування рукояттю; 5 – рукоять; 6 – чотириланковий механізм; 7 – ківш; 8, 9, 10, 11 – гідроциліндри; 12 – зубчато-рейковий механізм; 13 – клинопасова передача; 14 – гідромотор (а - патент України № 70683; б - патент України № 70686; в - патент України № 75318)



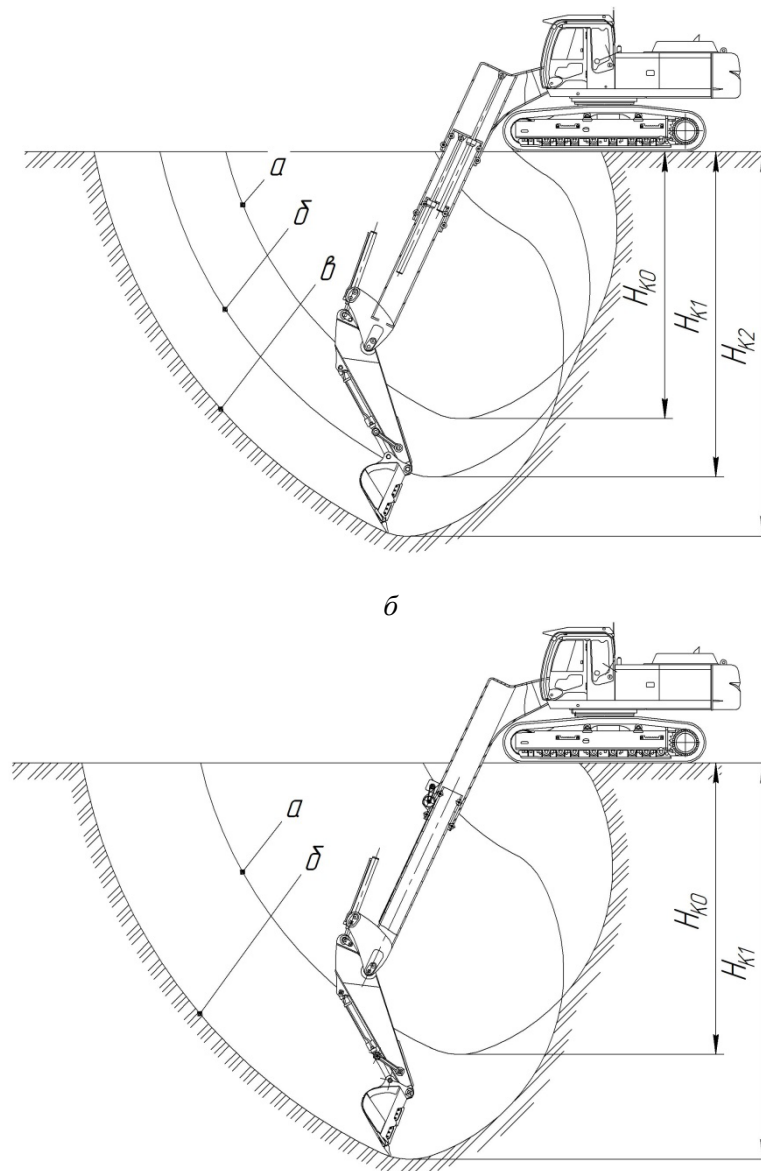


Рис. 2. Конструкції телескопічного робочого обладнання: а – при обох втягнутих телескопах (традиційна конструкція РО); б – при одній виштовхнутій телескопічній частині; в – обидві телескопічні частини втягнуті (а - патент України № 70683; б - патент України № 70686; в - патент України № 75318)

Оскільки екскаватори - повноповоротні машини, то виїмання ґрунту відбувається по радіальних напрямках, а поверхня розробленого масиву має вигляд поверхні обертання. Розрахунки здійснювались для конструкцій екскаватора з телескопічним робочим обладнанням, запропонованих авторами [7; 8; 9] (рис. 1).

Для загальних розрахунків екскаваторів користуються поняттям елемента забою. Під ним розуміють геометричне тіло, в межах якого може бути розроблений ґрунт з однієї стоянки екскаватора. Окреслення елемента

забою визначається кінцевими робочими траєкторіями ковша, шириною заходу, положенням екскаватора в забої.

На рисунку 2 зображено конструкції телескопічного робочого обладнання під час роботи в забої.

Розглянемо геометричні тіла, які окреслюються робочими траєкторіями ковша *a*, *b* і *c* – традиційного РО та телескопічного при одному та двох виштовхнутих телескопах стріли, відповідно, параметрична схема яких зображена на рисунку 3.

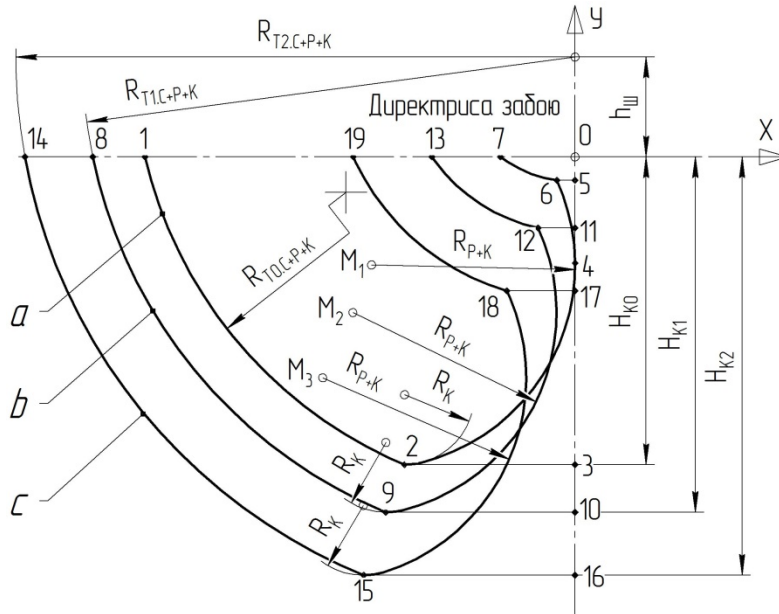


Рис. 3. Параметрична схема копання ґрунту телескопічним робочим обладнанням (стріла, рукоять та квіш перебувають у крайніх положеннях): а, b, с – робочі траєкторії ковша під час копання РО з традиційною стрілою, РО з телескопічною стрілою при одному та двох виштовхнутих телескопах, відповідно; $R_{T0.C+P+K}$ – радіус копання традиційним РО (телескопи стріли втягнуті), $R_{T1.C+P+K}$ – радіус копання РО з телескопічною стрілою при одному виштовхнутому телескопі, $R_{T2.C+P+K}$ – радіус копання РО з телескопічною стрілою при двох виштовхнутих телескопах стріли, R_K – радіус копання ковша, R_{P+K} – радіус копання рукояті з ковшем; $h_{ш}$ – відстань від площини стоянки (директриси забою) до шарніра кріплення стріли; $H_{к0}$ – глибина копання традиційним РО (телескоп стріли втягнутий), $H_{к1}$, $H_{к2}$ – глибини копання РО з телескопічною стрілою при одному та обох виштовхнутих телескопах

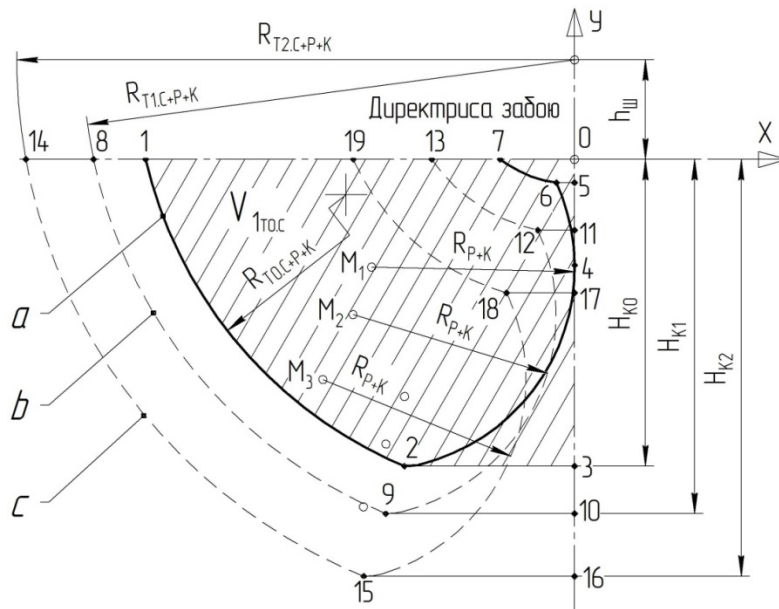


Рис. 4. Схема для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{T0.C}$

Для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{T0.C}^{TEOP.}$ (площа поперечного

перерізу позначена точками 1, 2, 4, 5, 7), розроблюваного традиційним РО, розіб'ємо

поперечний переріз на три геометричні тіла – $V_{1ТО.С}$, $V_{2ТО.С}$ та $V_{3ТО.С}$ (рис. 4; 5). Тоді об'єм копання ґрунту дорівнюватиме:

$$V_{ТО.С}^{ТЕОФ.} = V_{1ТО.С} - V_{2ТО.С} + V_{3ТО.С}, \quad (1)$$

Застосовуючи метод інтегральних обчислень (рис. 4; 5), знайдемо об'єми цих геометричних тіл.

Координати точки $2(x_2, y_2)$ знаходяться із системи рівнянь кривих $R_{ТО.С+Р+К}$ та $R_{Р+К}$:

$$2(x_2, y_2) = \begin{cases} (x - x_{ш})^2 + (-y + y_{ш})^2 = R_{ТО.С+Р}^2 \\ (x - x_{М1})^2 + (y - y_{М1})^2 = R_{Р+К}^2 \end{cases}, \quad (2)$$

де: $R_{ТО.С+Р+К}$ – максимальний радіус копання ковша традиційним РО; $R_{Р+К}$ – максимальний радіус копання рукояті з ковшем; $x_{ш}$, $y_{ш}$ – координати центру дуги, описаної радіусом $R_{ТО.С+Р+К}$; $y_{ш} = h_{ш}$ – відстань від площини стоянки (директриси забою) до шарніра кріплення стріли; $x_{М1}$, $y_{М1}$ – коор-

динати точки M_1 , – шарніра кріплення рукояті.

Таким чином, об'єм елемента забою $V_{1ТО.С}$ (рис. 4), позначений точками 0, 1, 2, 3, дорівнюватиме:

$$V_{1ТО.С} = \pi \int_{-H_{К0}}^0 x_{ш}^2 dy = \pi \int_{-H_{К0}}^0 [R_{ТО.С+Р+К}^2 - (-y + h_{ш})^2] dy, \quad (3)$$

де: $H_{К0} = y_2$, – максимальна глибина копання традиційним РО.

Об'єми копання ґрунту традиційним РО $V_{2ТО.С}$ та $V_{3ТО.С}$ (рис. 5), площа поперечних перетинів, позначена точками 2, 3, 5, 6 та 0, 5, 6, 7, відповідно, дорівнюватимуть:

$$V_{2ТО.С} = \pi \int_{-H_{К0}}^{y_6} [x_{М1} - \sqrt{R_{Р+К}^2 - (y - y_{М1})^2}]^2 dy; \quad (4)$$

$$V_{3ТО.С} = \pi \int_{y_6}^0 [R_6^2 - (y - h_{ш})^2] dy, \quad (5)$$

де: $R_{Р+К}$ – радіус рукояті з ковшем (ківш у крайньому положенні).

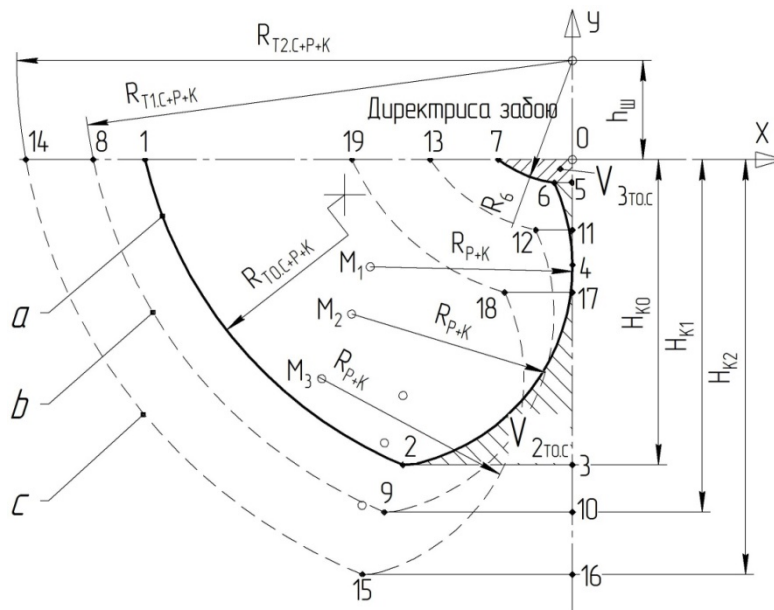


Рис. 5. Схема для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{2ТО.С}$ та $V_{3ТО.С}$

Координати точки $6(x_6, y_6)$ знаходяться із системи рівнянь кривих R_6 та $R_{Р+К}$:

$$6(x_6, y_6) = \begin{cases} (x - x_{ш})^2 + (-y + y_{ш})^2 = R_6^2 \\ (x - x_{М1})^2 + (y - y_{М1})^2 = R_{Р+К}^2 \end{cases}, \quad (6)$$

Визначаємо теоретичний об'єм копання ґрунту $V_{Т1С}^{ТЕОФ.}$ (рис. 6), площа поперечного перетину якого позначена точками 8, 9, 12, 13), розроблюваного телескопічним РО при одному виштовхнутому телескопі стріли:

$$V_{Т1С}^{ТЕОФ.} = V_{1Т1С} - V_{2Т1С} + V_{3Т1С}. \quad (7)$$

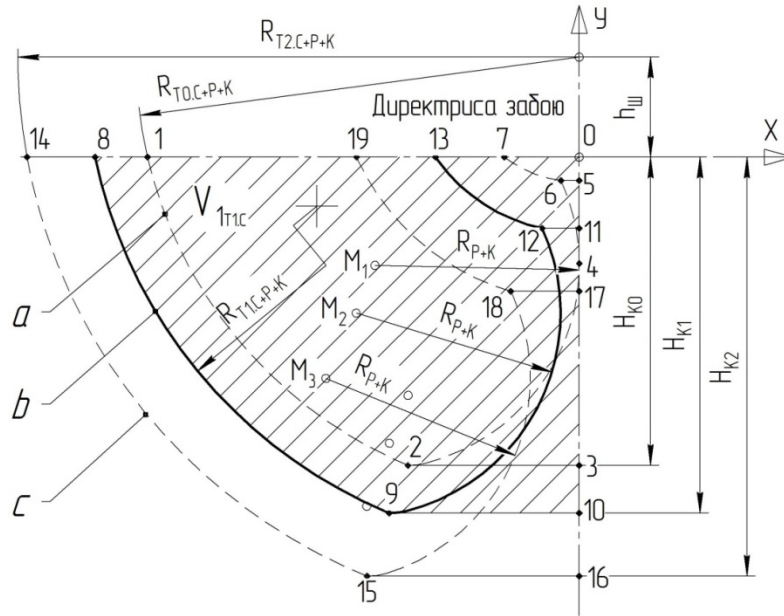


Рис. 6. Схема для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту V_{1TLC}

Координати точки $9(x_9, y_9)$ знаходяться із системи рівнянь кривих $R_{T1C+P+K}$ та

$$R_{P+K} : \begin{cases} (x - x_{ш})^2 + (-y + y_{ш})^2 = R_{T1C+P+K}^2, \\ (x - x_{M2})^2 + (y - y_{M2})^2 = R_{P+K}^2 \end{cases} \quad (8)$$

де $R_{T1C+P+K}$ – максимальний радіус копання телескопічним РО при одному виштовхнутому телескопі стріли; x_{M2}, y_{M2} – координати точки M_2 , – шарніра кріплення рукояті.

Об'єм елемента забою V_{1TLC} (рис. 6), позначений точками 0, 8, 9, 10, дорівнюватиме:

$$V_{1TLC} = \pi \int_{-H_{K1}}^0 x_{ш}^2 dy = \pi \int_{-H_{K1}}^0 [R_{T1C+P+K}^2 - (-y + h_{ш})^2] dy, \quad (9)$$

де $H_{K1} = y_9$, – максимальна глибина копання телескопічним РО при одному виштовхнутому телескопі стріли.

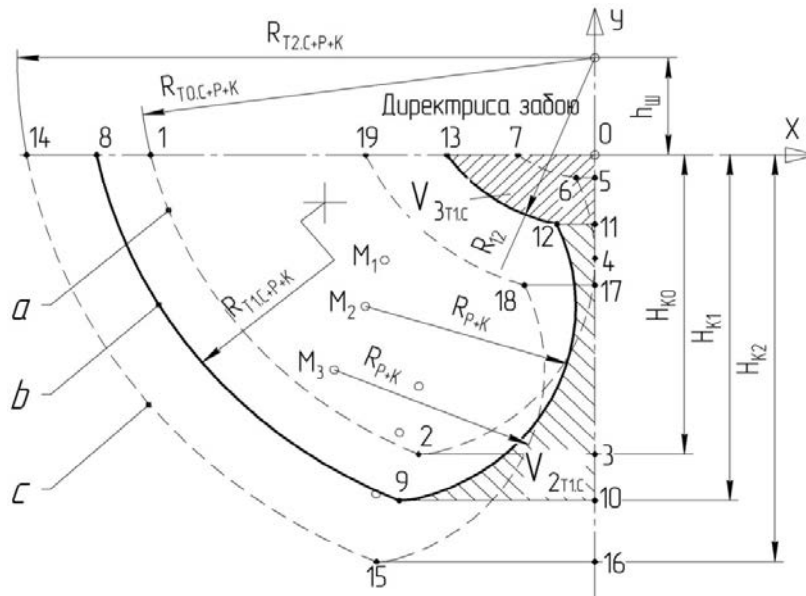


Рис. 7. Схема для визначення теоретичних об'ємів копання ґрунту V_{2TLC} та V_{3TLC}

Об'єми копання ґрунту телескопічним РО $V_{2Т1.С}$ та $V_{3Т1.С}$ (рис. 7), площа поперечних перетинів позначена точками 9, 10, 11, 12 та 0, 11, 12, 13, відповідно, дорівнюватимуть:

$$V_{2Т1.С} = \pi \int_{-H_{K1}}^{y_{12}} [x_{M2} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{M2})^2}]^2 dy; \quad (10)$$

$$V_{3Т1.С} = \pi \int_{y_{12}}^0 [R_{12}^2 - (y - h_{ш})^2] dy, \quad (11)$$

Координати точки $12(x_{12}, y_{12})$ знаходяться із системи рівнянь кривих R_{12} та R_{P+K} :

$$12(x_{12}, y_{12}) = \begin{cases} (x - x_{ш})^2 + (-y + y_{ш})^2 = R_{12}^2 \\ (x - x_{M2})^2 + (y - y_{M2})^2 = R_{P+K}^2 \end{cases}. \quad (12)$$

Визначаємо теоретичний об'єм копання ґрунту $V_{Т2С}^{ТЕОФ.}$ (рис. 8), площа поперечного перетину якого позначена точками 14, 15, 17, 19, розроблюваного телескопічним РО при одному виштовхнутому телескопі стріли:

$$V_{Т2С}^{ТЕОФ.} = V_{1Т2С} - V_{2Т2С} + V_{3Т2С}. \quad (13)$$

Координати точки $15(x_{15}, y_{15})$ знаходяться із системи рівнянь кривих $R_{Т2С+P+K}$ та R_{P+K} :

$$15(x_{15}, y_{15}) = \begin{cases} (x - x_{ш})^2 + (-y + y_{ш})^2 = R_{Т2С+P+K}^2 \\ (x - x_{M3})^2 + (y - y_{M3})^2 = R_{P+K}^2 \end{cases}, \quad (14)$$

де: $R_{Т2С+P+K}$ – максимальний радіус копання телескопічним РО при двох виштовхнутих телескопах стріли; x_{M3}, y_{M3} – координати точки M_3 , – шарніра кріплення рукояті.

Об'єм елемента забою $V_{1Т2С}$ (рис. 8), позначений точками 0, 14, 15, 16, дорівнюватиме:

$$V_{1Т2С} = \pi \int_{-H_{K2}}^0 x_{ш}^2 dy = \pi \int_{-H_{K2}}^0 [R_{Т2С+P+K}^2 - (-y + h_{ш})^2] dy, \quad (15)$$

де: $H_{K2} = y_{15}$, – максимальна глибина копання телескопічним РО при двох виштовхнутих телескопах стріли.

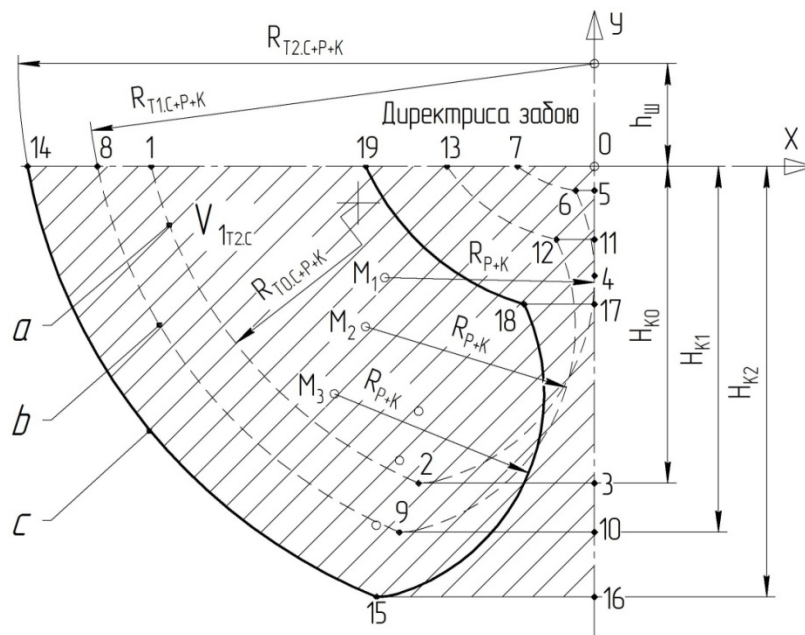


Рис. 8. Схема для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{Т2С}$

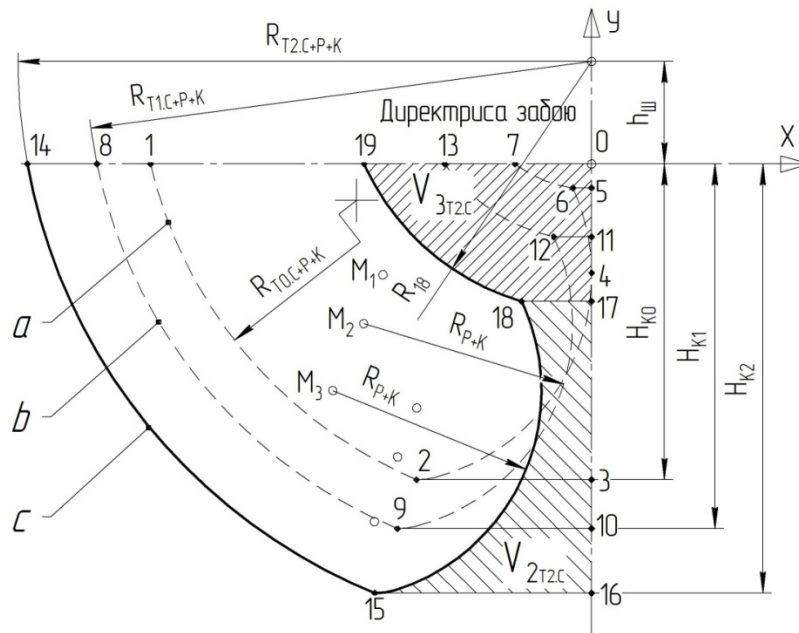


Рис. 9. Схема для визначення теоретичних об'ємів копання ґрунту V_{2T2C} та V_{3T2C}

Об'єми копання ґрунту телескопічним РО V_{2T2C} та V_{3T2C} (рис. 9), площа поперечних перетинів, позначена точками 15, 16, 17, 18 та 0, 17, 18, 19, відповідно, дорівнюватимуть:

$$V_{2T2C} = \pi \int_{-H_{K2}}^{y_{18}} \left[x_{M3} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{M3})^2} \right]^2 dy; \quad (16)$$

$$V_{3T2C} = \pi \int_{y_{18}}^0 [R_{12}^2 - (y - h_{ш})^2] dy. \quad (17)$$

Координати точки $18(x_{12}, y_{12})$ знаходяться із системи рівнянь кривих R_{18} та R_{P+K} :

$$18(x_{18}, y_{18}) = \begin{cases} (x - x_{ш})^2 + (-y + y_{ш})^2 = R_{18}^2 \\ (x - x_{M3})^2 + (y - y_{M3})^2 = R_{P+K}^2 \end{cases}, \quad (18)$$

Технічний об'єм ґрунту, розроблюваний екскаватором на початку копання (рис.10):

$$V_{ТЕХ}^{\beta} = \frac{V_{Т.С}^{ТЕОР}}{360^{\circ}} \cdot \beta, \quad (19)$$

де: β – кут обертання екскаватора від осі руху.

При подальшій роботі екскаватора слід розглядати фігури, зображені на рисунках 11 та 12.

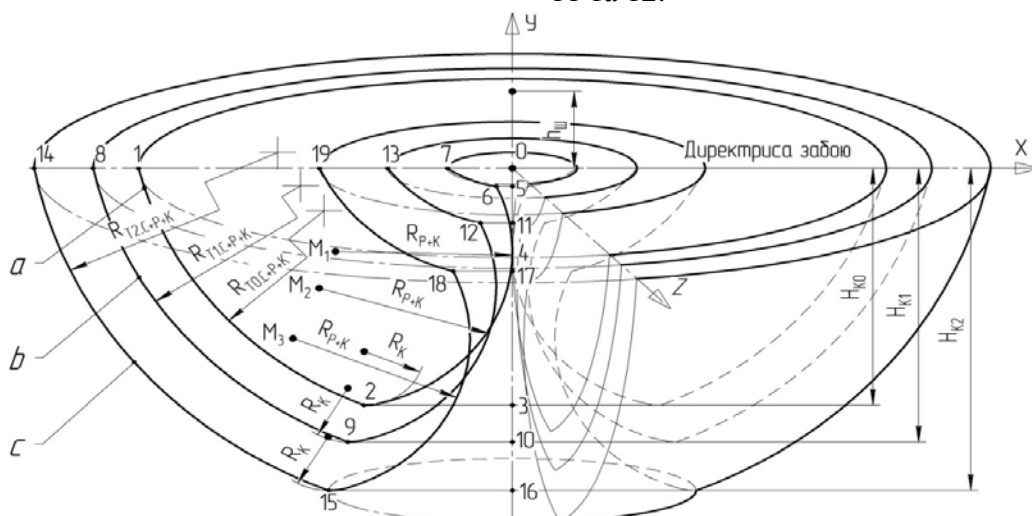


Рис. 10. Просторова схема для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту

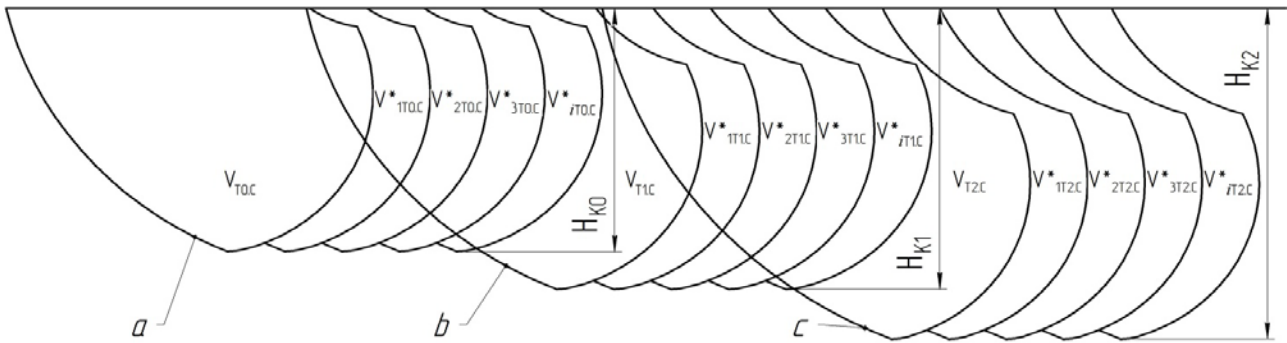


Рис. 11. Траєкторії копання ґрунту телескопічним робочим обладнанням: а – обидва телескопи втягнуті (традиційна конструкція РО); б – один телескоп стріли виштовхнутий; в – обидва телескопи стріли виштовхнуті; $V_{ТОС}$, $V_{Т1С}$, $V_{Т2С}$ – піонерні елементи забою (початкова стадія копання) під час роботи традиційним робочим обладнанням (обидва телескопи втягнуті), з одним та двома виштовхнутими телескопами стріли, відповідно; $V^*_{Т0С}$, $V^*_{Т1С}$, $V^*_{Т2С}$, $V^*_{Т0С}$, $V^*_{Т1С}$, $V^*_{Т2С}$, $V^*_{Т1С}$, $V^*_{Т1С}$, $V^*_{Т2С}$, $V^*_{Т2С}$, $V^*_{Т2С}$, $V^*_{Т2С}$, $V^*_{Т2С}$ – елементи забою при подальшій розробці забою під час роботи традиційним робочим обладнанням (обидва телескопи втягнуті) з однією та двома виштовхнутими телескопічними секціями стріли, відповідно

Тоді об'єм розроблюваного ґрунту в забої слід визначати за наступними формулами:

1. При традиційній конструкції робочого обладнання (обидва телескопи стріли втягнуті), (рис. 12, а):

$$V_{ТЕХТОС}^{\beta} = \frac{\beta}{360^{\circ}} (V_{ТОС}^{ТЕОР.} + V_{Т0С}^* + V_{Т1С}^* + V_{Т2С}^* + V_{Т0С}^* + V_{Т1С}^* + V_{Т2С}^*); \quad (20)$$

$$V_{ТЕХТОС}^{\beta} = \frac{\beta}{360^{\circ}} (V_{ТОС}^{ТЕОР.} + \sum_{i=1}^n V_{iТОС}^*), \quad (21)$$

де: n – кількість елементів забоїв.

Об'єм елемента забою $V_{iТОС}^*$ дорівнюватиме:

$$V_{iТОС}^* = \pi \left(\int_{-H_{К0}}^{y_{20}} \left[(R_{ТОС+P+K}^2 - (-y + h_{ш})^2) - (x_{M1} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{M1})^2})^2 \right] dy + \int_{y_{20}}^{y_6} \left[(x_{M1} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{M1})^2})^2 - (x'_{M1} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y'_{M1})^2})^2 \right] dy + \int_{y_6}^0 \left[(x_6 - \sqrt{R_6^2 - (-y + h_{ш})^2})^2 - (R_6^2 - (-y + h_{ш})^2) \right] dy \right), \quad (22)$$

де: x_{20}, y_{20} – координати точки 20, визначаються аналогічно координатам точок 2, 9 і 15 – (2), (8), (14).

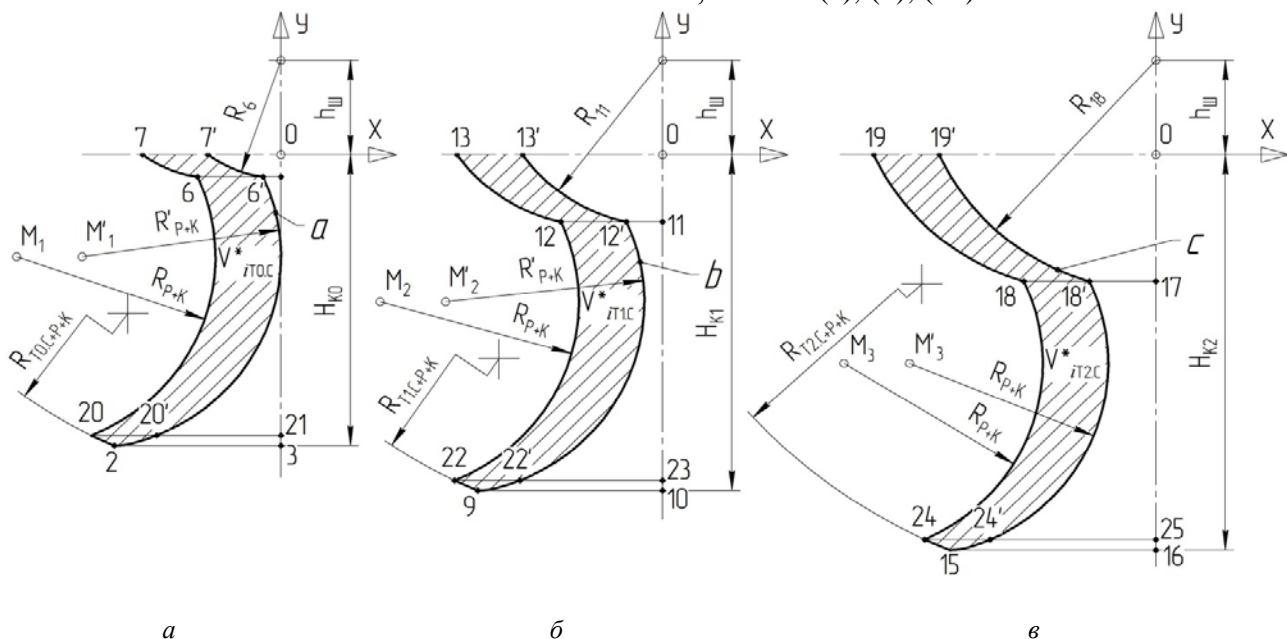


Рис. 12. Схема для визначення теоретичних об'ємів копання ґрунту: а – $V^*_{Т0С}$; б – $V^*_{Т1С}$; в – $V^*_{Т2С}$

2. При одному виштовхнутому телескопі стріли, (рис. 12, б):

$$V_{\text{ТЕХТ1.C}}^\beta = \frac{\beta}{360^\circ} (V_{\text{T1.C}}^{\text{ТЕОФ.}} + V_{\text{IT1.C}}^* + V_{\text{2T1.C}}^* + V_{\text{3T1.C}}^* + V_{\text{IT1.C}}^*); \quad (23)$$

$$V_{\text{ТЕХТ1.C}}^\beta = \frac{\beta}{360^\circ} (V_{\text{T1.C}}^{\text{ТЕОФ.}} + \sum_1^n V_{\text{IT1.C}}^*). \quad (24)$$

Об'єм елемента забою $V_{\text{IT1.C}}^*$ дорівнюватиме:

$$V_{\text{IT1.C}}^* = \pi \left(\int_{-H_{K1}}^{y_{22}} \left[(R_{\text{T1.C+P+K}}^2 - (-y + h_{\text{ш}})^2) - (x_{\text{M2}} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{\text{M2}})^2})^2 \right] dy + \int_{y_{22}}^{y_{24}} \left[(x_{\text{M2}} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{\text{M2}})^2})^2 - (x'_{\text{M2}} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y'_{\text{M2}})^2})^2 \right] dy + \int_{y_{24}}^0 \left[(x_{12} - \sqrt{R_{12}^2 - (-y + h_{\text{ш}})^2})^2 - (R_{12}^2 - (-y + h_{\text{ш}})^2) \right] dy \right), \quad (25)$$

де x_{22}, y_{22} – координати точки 22, визначаються аналогічно координатам точок 2, 9, 15, 20 – (2), (8), (14).

3. При двох виштовхнутих телескопах стріли, (рис. 12, в):

$$V_{\text{ТЕХТ2.C}}^\beta = \frac{\beta}{360^\circ} (V_{\text{T2.C}}^{\text{ТЕОФ.}} + V_{\text{IT2.C}}^* + V_{\text{2T2.C}}^* + V_{\text{3T2.C}}^* + V_{\text{IT2.C}}^*); \quad (26)$$

$$V_{\text{ТЕХТ2.C}}^\beta = \frac{\beta}{360^\circ} (V_{\text{T2.C}}^{\text{ТЕОФ.}} + \sum_1^n V_{\text{IT2.C}}^*). \quad (27)$$

Об'єм елемента забою $V_{\text{IT2.C}}^*$ дорівнюватиме:

$$V_{\text{IT2.C}}^* = \pi \left(\int_{-H_{K2}}^{y_{24}} \left[(R_{\text{T2.C+P+K}}^2 - (-y + h_{\text{ш}})^2) - (x_{\text{M3}} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{\text{M3}})^2})^2 \right] dy + \int_{y_{24}}^{y_{24}} \left[(x_{\text{M3}} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{\text{M3}})^2})^2 - (x'_{\text{M3}} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y'_{\text{M3}})^2})^2 \right] dy + \int_{y_{24}}^0 \left[(x_{18} - \sqrt{R_{18}^2 - (-y + h_{\text{ш}})^2})^2 - (R_{18}^2 - (-y + h_{\text{ш}})^2) \right] dy \right), \quad (28)$$

де x_{24}, y_{24} – координати точки 24, визначаються аналогічно координатам точок 2, 9, 15, 20, 22 – (2), (8), (14). На основі запропонованої методики в системі комп'ютерної алгебри *Mathcad* були проведені розрахунки з визначення об'єму розроблюваного ґрунту $V_{\text{T.C}}^{\text{ТЕОФ.}}$ та $V_{\text{IT.C}}^*$ для традиційної (обидва телескопи стріли втягнуті) та телескопічної конструкції робочого обладнання (рис. 1, 2), результати яких наведено в таблицях 1 та 2, та побудовані гістограми. Були розглянуті зони роботи робочого обладнання, при куті роботи β° робочого обладнання на $45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ та при копанні на ширину ковша. Для розрахунків при копанні на ширину ковша взято параметричний ряд ковшів фірми *Caterpillar*, для робочого обладнання екскаватора *336D* збільшеної довжини.

Таблиця 1

Результати розрахунків із визначення об'єму розроблюваного ґрунту

Традиційна конструкція РО (обидва телескопи стріли втягнуто)				
β, град	45°	60°	75°	90°
H _{коп.} , мм	7 327	7 327	7 327	7 327
V _{ТОС} ^{ТЕОФ.} , м ³	198,95	265,27	331,59	397,91
V _{ITОС} [*] , м ³	14,27	19,03	23,79	28,55
Телескопічна конструкція РО (один телескоп стріли виштовхнутий)				
β, град	90°	180°	270°	360°
H _{коп.} , мм	8463	8463	8463	8 463
V _{T1C} ^{ТЕОФ.} , м ³	285,57	380,76	475,95	571,14
V _{IT1C} [*] , м ³	23,63	31,51	39,39	47,26
Телескопічна конструкція РО (обидва телескопи стріли виштовхнуті)				
β, град	90°	180°	270°	360°
H _{коп.} , мм	9 965	9 965	9 965	9 965
V _{T2C} ^{ТЕОФ.} , м ³	421,67	562,23	702,79	843,35
V _{IT2C} [*] , м ³	41,16	54,88	68,60	82,32

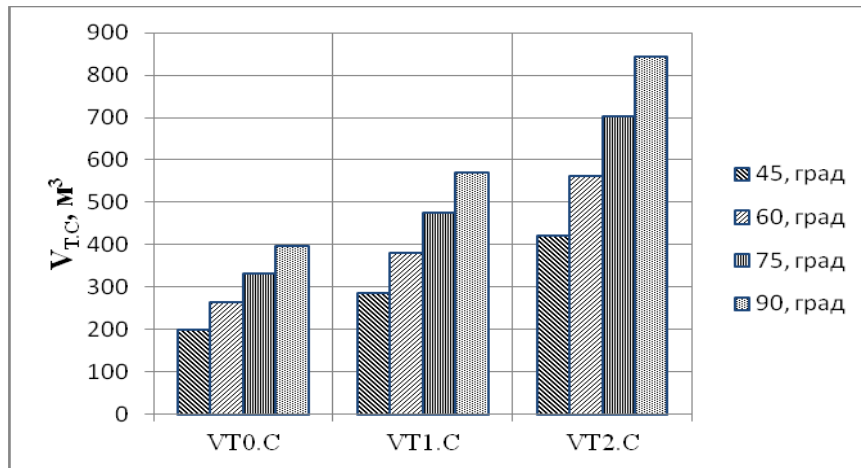


Рис. 13. Порівняльна гістограма показників об'єму розроблюваного ґрунту для традиційного та телескопічного РО при куті обертання на 45°, 60°, 75°, 90°

Таблиця 2

Результати розрахунків із визначення об'єму розроблюваного ґрунту при $\beta=0^\circ$

Об'єм ковша, м ³		Ширина ковша b, м		Об'єм розроблюваного ґрунту, м ³		
				V _{T0.C}	V _{T1.C}	V _{T2.C}
q ₁	0,44	b ₁	0,6	33,83	41,1	49,89
q ₂	0,59	b ₂	0,75	42,3	51,37	62,37
q ₃	0,86	b ₃	0,1	56,4	68,5	83,66
q ₄	1,08	b ₄	0,12	67,7	82,2	99,8
q ₅	1,13	b ₅	0,125	70,5	85,62	103,95
q ₆	1,19	b ₆	0,13	73,3	89,04	108,1
q ₇	1,30	b ₇	0,14	78,95	95,9	116,42
q ₈	1,41	b ₈	0,15	84,6	102,75	124,75

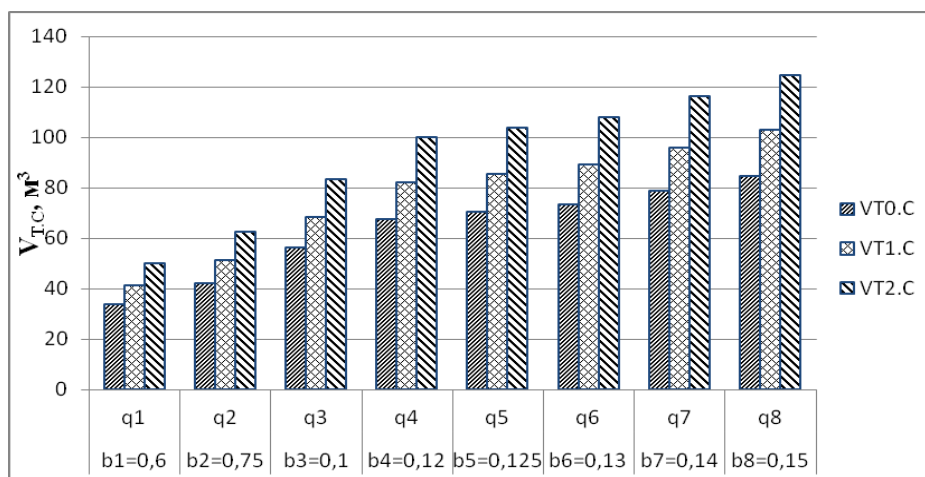


Рис. 14. Гістограма показників об'єму під час копання традиційним та телескопічним робочим обладнанням при одній та двох виштовхнутих телескопічних частинах, на ширину ковша ($\beta=0^\circ$)

Висновок. Застосування робочого обладнання з двосекційною телескопічною стрілою і традиційною рукояттю дозволяє збільшити глибину копання на 17,7 % у разі висування одного телескопа стріли та на 36 % у випадку висування обох телескопів

стріли, при цьому досягається збільшення об'єму ґрунту на 29 % та 51 %, відповідно (табл. 1, 2, рис. 13, 14) під час копання з однієї стоянки екскаватора. Проведені розрахунки за запропонованою методикою інтегральних обчислень підтверджують ефектив-

ність конструкції. Застосування запропонованого робочого обладнання дозволяє збільшити об'єм розроблюваного ґрунту з однієї стоянки екскаватора, а також розширити

функціональні можливості та діапазон виконуваних робіт.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Баловнев В. И. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – Москва : Транспорт, 1993. – 383 с.
2. Беляков Ю. И. Земляные работы / Ю. И. Беляков, А. Л. Левинзон, В. А. Галимуллин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1990. – 281 с.
3. Ветров Ю. А. Машины для земляных работ / Ветров Ю. А. – 2-е изд., дораб. и доп. – Киев : Вища шк., 1981. – 275 с.
4. Гаркави Н. Г. Машины для земляных работ / Н. Г. Гаркави. – Москва : Высш. шк., 1982. – 335 с.
5. Машины для земляных работ : навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Ничке, Л. В. Назаров, М. П. Скоблюк, В. Г. Нікітін ; за заг. ред. Л. А. Хмари та С. В. Кравця. – Рівне ; Дніпропетровськ ; Харків, 2010. – 557 с.
6. Методические указания к выполнению курсового проекта “Одноковшовые гидравлические экскаваторы” к дисциплине “Машины для земляных работ” для студентов механических специальностей / Тимошенко В. К., Хмара Л. А., Деревянчук М. И., Кулик И. А. – Днепропетровск : ДИСИ, 1989. – 64 с.
7. Робоче обладнання гідравлічного екскаватора : пат. 70683 Україна : МПК E02F 3/28 / Л. А. Хмара, О. О. Дахно, О. А. Бутенко ; заявл. 14.11.2011 ; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.
8. Робоче обладнання одноківшевого екскаватора : пат. 75318 Україна : МПК E02F 3/28 / Л. А. Хмара, О. О. Дахно ; заявл. 25.05.2012 ; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22.
9. Телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора : пат. 70686 Україна : МПК E02F 3/28 / Л. А. Хмара, О. О. Дахно, О. А. Бутенко ; заявл. 14.11.2011 ; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.
10. Хмара Л. А. Визначення теоретичного об'єму копання ґрунту одноківшевим екскаватором з телескопічним робочим обладнанням / Л. А. Хмара, О. О. Дахно // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия : Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование : сб. науч. тр. / Приднепр. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 66 : Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. – С. 38-49.
11. Хмара Л. А. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин / Л. А. Хмара, М. П. Колісник, В. П. Станевський. – Київ : Будівельник, 1992. – 152 с.
12. Хмара Л. А. Оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора / Л. А. Хмара // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 15, Ч. 2. – С. 143-149. – (Стародубовские чтения).
13. Хмара Л. А. Телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора, оцінка його ефективності та визначення об'єму копання ґрунту / Л. А. Хмара, О. О. Дахно // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия : Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование : сб. науч. тр. / Приднепр. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск : ПГАСА, 2012. – Вып. 66 : Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. – С. 29-37.
14. Хмара Л. А. Формування та оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора / Л. А. Хмара, О. О. Дахно // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия : Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование : сб. науч. тр. / Приднепр. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск: ПГАСА, 2012. – Вып. 66 : Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. – С. 142-154.

REFERENCES

1. Balovnev V. I., Khmara L. A. *Intensifikatsiya razrabotki gruntov v dorozhnom stroitel'stve* [Intensification of digging of soil in road construction]. Moscow, Transport, 1993. 383p. (in Russian).
2. Belyakov Y. I., Levinsohn A. L., Galimullin V. A. *Zemlyanye raboty* [Earthworks], Moscow, Stroyizdat, 1990, 281p. (in Russian).
3. Vetrov Y. A. *Mashiny dlya zemlyanye raboty* [Machines for earthworks]. Kyiv, Vyscha shkola. Golovnoe izd-vo, 1981. 275p. (in Russian).
4. Garkavi N. G. *Mashiny dlya zemlyanykh rabot* [Machines for earthworks]. Moscow, Vyschaya shkola, 1982. 335 p. (in Russian).

5. Khmara L. A., Kravets S. V. *Mashyny dlya zemlyanykh robot* [Machines for earthworks]. Navchal'ny posibnyk-Manual. R., D., H. Budivel'nik, 2010. 557 p. (in Ukrainian).
6. Tymoshenko V. K., Khmara L. A., Derevyanchuk M. I., Kulik I. A. *Metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu kursovogo proekta "Odnokovshovye gidravlicheskie ekskavatory" k distsipline "Mashiny dlya zemlyanykh robot" dlya studentov mekhanicheskikh spetsial'nostej*. [Methodical instructions for implement the course of the project "Hydraulic excavators" for discipline "Machinery for earth works" for students of mechanical specialties. Dnepropetrovsk, DISI, 1989. 64p. (in Russian).
7. Khmara L. A. Dakhno O. O. Butenko O. A. *Patent na korisnu model № 70683 Ukraina, MPK E02F 3/28. Roboche obladdannyya gidravlichnogo ekskavatora*. Zayavl. 14.11.2011; opubl. 25.06.2012. Byul. № 12 [The patent for utility model № 70683 Ukraine, IPC E02F 3/28. Working equipment of hydraulic excavator. Claimed. 14.11.2011; publ. 25.06.2012. Bull. №12]. (in Ukrainian).
8. Khmara L. A., Dakhno O. O. *Patent na korisnu model № 75318 Ukraina, MPK E02F 3/28. Roboche obladdannyya odnokivshevogo ekskavatora*. Zayav. 25.05.2012; opubl. 26.11.2012. Byul. №22 [The patent for utility model № 75318 Ukraine, IPC E02F 3/28. The working equipment of excavator. Claimed. 25.05.2012; publ. 26.11.2012. Bull. № 22]. (in Ukrainian).
9. Khmara L. A., Dakhno O. O. Butenko O. A. *Patent na korisnu model № 70686 Ukraina, MPK E02F 3/28. Teleskopichne roboche obladdannyya gidravlichnogo ekskavatora*. Zayav. 14.11.2011; opubl. 25.06.2012. Byul. №12 [The patent for utility model № 70686 Ukraine, IPC E02F 3/28. Telescopic working equipment of hydraulic excavator. Claimed. 14.11.2011; publ. 25.06.2012. Bull. №12]. (in Ukrainian).
10. Khmara L. A., Dakhno O. O. *Viznachennyya teoretichnogo ob'emnu kopannyya truntu odnokivshevim ekskavatorom z teleskopichnim robochim obladdannyyam*. [Determination of theoretical volume of soil digging of excavator with the telescopic working equipment]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* – Construction, materials science, mechanical engineering. Dnipropetrovsk, PSACEA, 2012, no. 66.4.2, pp. 38-49. (in Ukrainian).
11. Khmara L. A., Kolisnyk M. P., Stanevskyy V. P. *Modernizatsiya ta pidvischennyya produktivnosti budivel'nikh mashin*. [Modernization and increase productivity of construction machinery]. Kiev, Budivel'nyk, 1992.152 p. (in Ukrainian).
12. Khmara L. A. *Otsenka effektivnosti teleskopicheskogo rabocheho oborudovaniya odnokovshovogo gidravlicheskogo ekskavatora* [Evaluating the effectiveness of telescopic the working equipment of hydraulic excavator]. *Sb. nauchnykh trudov: Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* – Collection of scientific works: Construction, materials science, mechanical engineering. Dnepropetrovsk, PSACEA, 2002, no. 15, pp. 143-150. (in Russian).
13. Khmara L.A., Dakhno O.O. *Teleskopichne roboche obladdannyya gidravlichnogo ekskavatora, otsinka jogo effektivnosti ta viznachennyya ob'ecty kopannyya gruntu*. [The telescopic working equipment of hydraulic excavator, evaluation of its effectiveness and determine of volume of digging soil]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* – Construction, materials science, mechanical engineering. Dnipropetrovsk, PSACEA, 2012, no.66.4.2, pp. 29-37. (in Ukrainian).
14. Khmara L. A., Dakhno O. O. *Formuvannyya ta otsinka effektivnosti teleskopichnogo robochogo obladdannyya odnokivshevogo gidravlichnogo ekskavatora*. *Sb. nauchnykh trudov*: The formation and evaluation of efficiency of telescopic working equipment of hydraulic excavator – Construction, materials science, mechanical engineering. D.: PSACEA, 2012, no. 66.4.2, pp. 142-154. (in Ukrainian).

Стаття рекомендована до друку 23.02.2015 р. Рецензент: д. т. н., проф. В. Г. Заренбін.
 Надійшла до редколегії: 30.03.2015 р. Прийнята до друку: 04.05.2015 р.