

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ ДЛЯ РАЗБОРКИ ЗАВАЛОВ РАЗРУШЕННЫХ ЗДАНИЙ

*На підставі аналізу характеру руйнування будівель та споруд під впливом стихійних лих та техногенних аварій, сформульовані вимоги до параметрів робочого обладнання однокішових екскаваторів. Головною вимогою до використання екскаваторів для розробки завалів зруйнованих будівель та для допомоги постраждалим є термін часу. Запропоновано робоче обладнання екскаваторів, яке оснащено гідрокерованою щелепою, що дозволяє захоплювати уламки зруйнованих будівель без стропальників. Розроблені математичні моделі для визначення параметрів робочого обладнання екскаваторів залежно від його типорозміру, ваги, продуктивності.*

*Ключові слова: параметри, робоче обладнання, екскаватор, завал, гідрокерована щелепа.*

*На основе анализа характера разрушения строений и сооружений под влиянием стихийных бедствий и техногенных аварий, сформулированы требования к параметрам рабочего оборудования однокоровых экскаваторов. Главным требованием к использованию экскаваторов для разборки завалов разрушенных строений и для помощи пострадавшим есть термин времени. Предложено рабочее оборудования экскаваторов, которое оснащено гидроуправляемой челюстью, что позволяет захватывать осколки разрушенных зданий без стропальников. Разработаны математические модели для определения параметров рабочего оборудования экскаваторов в зависимости от его типоразмера, веса, продуктивности.*

*Ключевые слова: параметры, рабочее оборудование, экскаватор, завал, гидроуправляемая челюсть.*

*On the base of analysis of buildings and constructions destruction character under the influence of natural disasters and man-caused accidents the requirements to the parameters of operational equipment of single-bucket excavators have been formulated. The main requirement to the application of excavators for wrecking of obstructions of destroyed buildings and for rendering assistance to victims is the term of time. An operational equipment of equipped with hydro controlled tine which allows capturing wrecks of destroyed buildings without steppers is proposed. The mathematical models for determining of*

*operational equipment parameters of excavators depending on its type and size, weight, production have been developed.*

*Key words: parameters, operational equipment, excavator, wrecking, hydro controlled tine.*

**Постановка проблемы.** Под воздействием стихийных бедствий и техногенных аварий здания и сооружения частично или полностью разрушаются, образуя завалы с хаотичным расположением обломков различной конфигурации и размеров (рисунок 1) [1-5]. Под завалами могут находиться потерпевшие, которых необходимо извлечь из-под обломков в кратчайшие сроки.



Рисунок 1 – Секция дома, разрушенная взрывом газа

Для разборки завалов широко применяют одноковшовые экскаваторы, оснащенные ковшами или другим сменным оборудованием. Однако параметры рабочих органов этих машин не всегда соответствуют условиям выполнения работ по разборке завалов разрушенных зданий.

**Анализ последних исследований и выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья.** Аварийно-спасательные и восстановительные работы выполняют подразделения МЧС, оснащенные строительно-дорожной и военной (тягачи) техникой. В качестве средств механизации, применяемых на таких работах, используют самоходные краны, экскаваторы, погрузчики, бульдозеры, механизированный инструмент, а также транспортные средства для вывоза обломков с территории разрушенных зданий и сооружений [6,7].

Перечисленные средства механизации имеют традиционное оборудование (крюковые подвески, ковши экскаваторов и погрузчиков) и не всегда удовлетворяют условиям ведения работ по разборке обломков завалов:

– при использовании ковшевых машин (экскаваторов, погрузчиков) возникает проблема погрузки в рабочие органы габаритных обломков, размеры которых превышают геометрические параметры ковшей. Кроме того, эти группы машин не всегда могут захватить необходимый обломок, который может находиться под другими, более мелкими обломками и в защемленном состоянии;

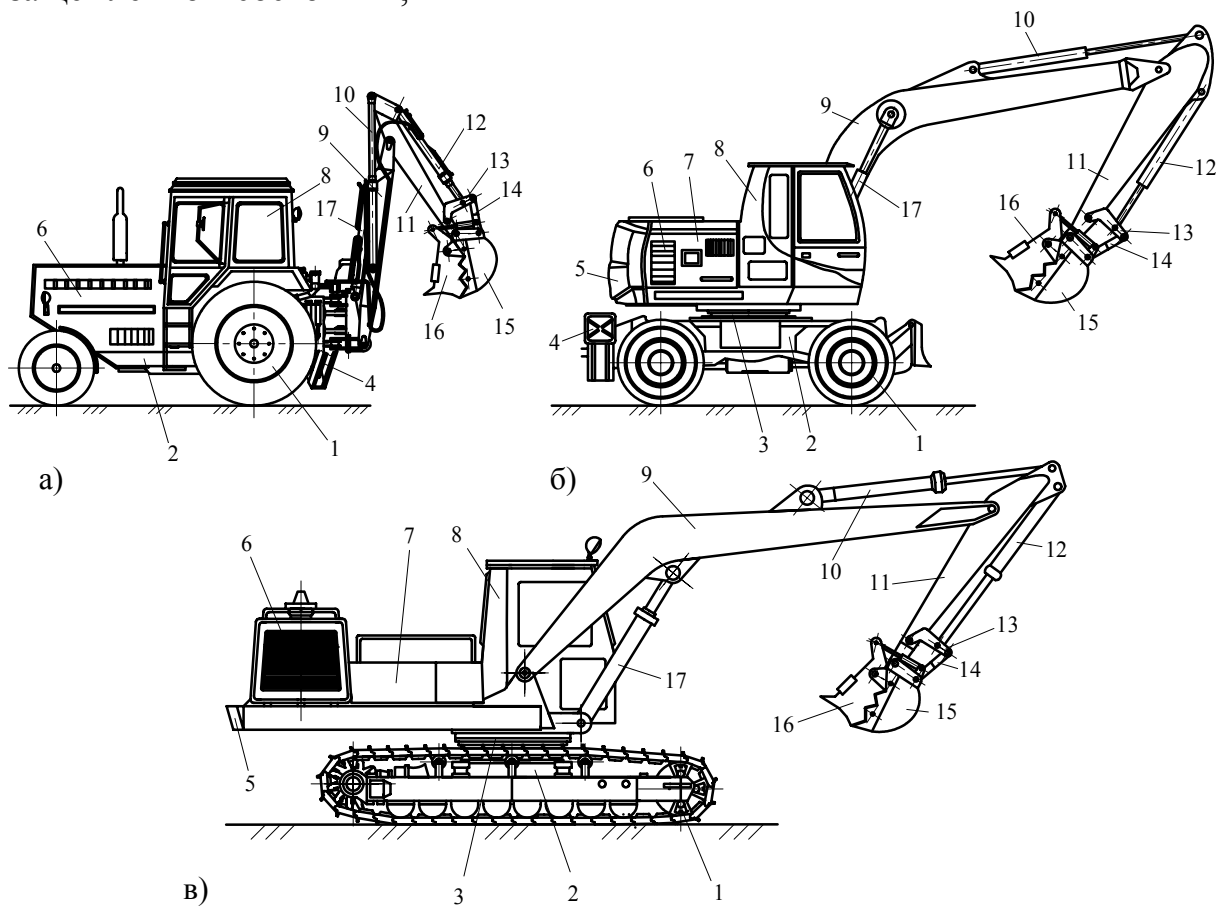


Рисунок 2 – Экскаваторы с обратной лопатой, ковши которых оснащены челюстью:  
 а) грузоподъемность  $Q=0,5$ т; б) грузоподъемность  $Q=1,0$ т; в) грузоподъемность  $Q=3$ т  
 1 – ходовая часть; 2 – рама; 3 – опорно-поворотный круг; 4 – выносные опоры;  
 5 – противовес; 6 – двигатель; 7 – поворотная платформа; 8 – кабина; 9 – стрела;  
 10 – гидроцилиндр; 11 – рукоять; 12 – гидроцилиндр; 13, 14 – рычаги; 15 – ковш;  
 16 – челюсть; 17 – гидроцилиндры

– при использовании самоходных кранов с крюковыми подвесками возникает необходимость в ручной строповке поднимаемых обломков непосредственно крюковой подвеской или с помощью строп.

**Формулирование целей статьи.** Целью является разработка эффективного рабочего оборудования строительных машин для разборки завалов разрушенных зданий и определение его рациональных параметров.

**Изложение основного материала.** Устранение указанных недостатков возможно применением на базе одноковшовых экскаваторов (рисунок 2) ковшей с гидроуправляемой челюстью (захватом) [8-11]. Конструктивное выполнение такого оборудования (рисунок 3) включает ковш 1 с режущими зубьями 3 и кронштейнами в верхней части 12 и 13.

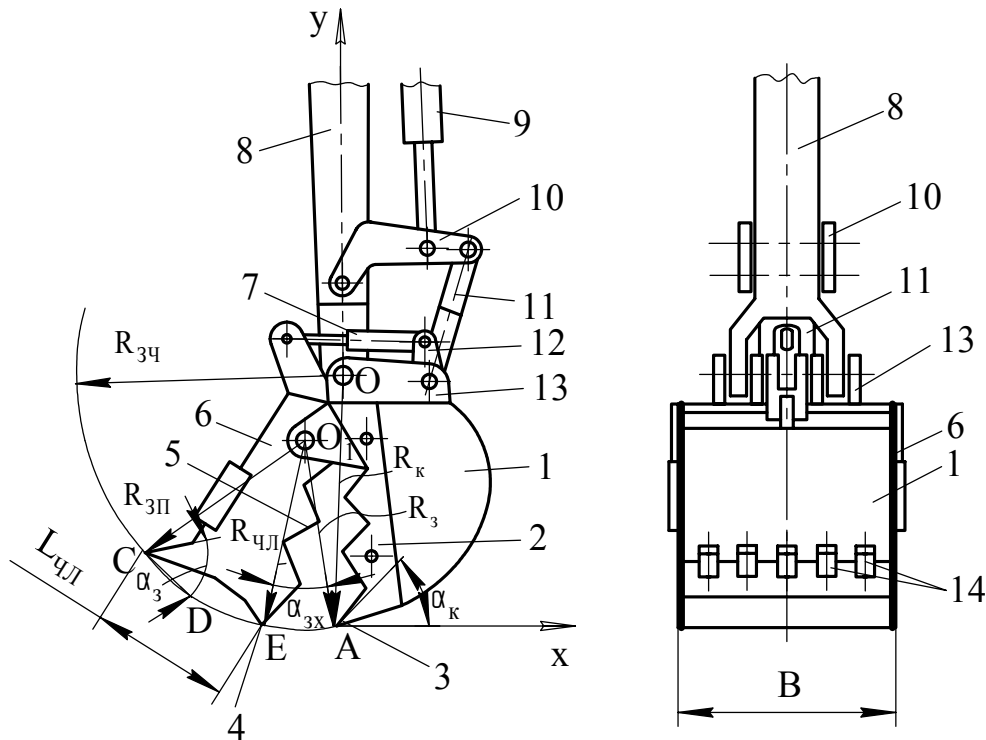


Рисунок 3 – Параметры ковша с челюстью:

- 1 – ковш; 2 – ребристые накладки; 3, 14 – режущие зубья; 4 – режущая кромка;  
 5 – ребристые внутренние поверхности челюсти; 6 – челюсть; 7 – гидроцилиндры;  
 8 – рукоять; 9 – гидроцилиндр; 10, 11 – рычаги; 12, 13 – кронштейн; 14 – зубья

На боковых поверхностях ковша 1 шарнирно установлена челюсть 6, в нижней части которой установлены зубья 14 и режущая кромка 4. Верхняя часть челюсти 6 связана с гидроцилиндрами 7, корпуса которых установлены в кронштейнах 12 ковша. Внутренние поверхности челюсти 6 имеют ребристую форму 5. Ковш 1 через кронштейны 13 связан с рукоятью 8 базового экскаватора, а рычагами 10 и 11 – с гидроцилиндром 9 поворота ковша. На боковых стенках ковша установлены ребристые накладки 2.

Такой рабочий орган может выполнять следующие технологические операции:

- при прижатой челюсти 6 к ковшу 1 производить наполнение ковша и челюсти мелкими обломками при разборке завала;

- поворотом челюсти 6 производить захват и прижатие к ковшу 1 крупных обломков разбираемых завалов;
- наличие ребристых поверхностей 5 обеспечивает надежное удержание захваченного груза;
- производить погрузку мелких и крупных обломков в транспортные средства;
- выполнять обрушение неустойчивых элементов разрушенных зданий;
- при технологической необходимости оборудование может быть использовано для разработки грунтов.

На основании анализа основных технических показателей экскаваторов производства СНГ и ведущих фирм производителей, например, фирмы Caterpillar (таблица 1 и 2), разработаны рекомендации по расчету основных показателей ковшей с челюстью (таблица 3) и параметрический ряд ковшей с челюстью применительно к экскаваторам грузоподъемностью 0,5 т; 1 т; 2,0 т и 3,0 т (рисунок 4), исходя из условия обеспечения устойчивости экскаваторов при подъеме максимальных грузов.

Таблица 1 – Основные технические показатели одноковшовых экскаваторов производства стран СНГ

Параметр	Ед. измер.	Базовый экскаватор			
		ЭО-2621	ЭО-3122	ЭО-4121	ЭО-5123
Грузоподъемность	т	0,5	1,0	2,0	3,0
Продолжительность рабочего цикла	с	12,8	14,0	16,0	23,0
Производительность	т/ч	108,0	197,0	344,0	359,0
Масса экскаватора	кг	6 100	14 050	25 500	37 000

Таблица 2 – Основные технические показатели экскаваторов фирмы «Caterpillar»

Параметр	Ед. измер.	Базовый экскаватор			
		307 С	М 313 С	М 318 С	М322 С
Грузоподъемность	т	0,5	1,0	2,0	2,5
Продолжительность рабочего цикла	с	11,0	13,0	15,0	17,0
Производительность	т/ч	125,0	212,0	306,0	362,0
Масса экскаватора	кг	7 210	14 400	19 150	22 200

Таблица 3 – Основные параметры ковша с челюстью для оснащения одноковшовых экскаваторов

№п/п	Параметр	Размерность	Обозначение	Расчетная формула
1.	Радиус ковша	м	$R_{K(OA)}$	$1,25 \cdot \sqrt[3]{q} + 0,15 \text{ м}$
2.	Радиус крепления челюсти	м	$R_{3(O_1A)}$	$(1,3 \dots 1,35) \cdot B$
3.	Радиус челюсти	м	$R_{ЧА(O_1E)}$	$(1,3 \dots 1,35) \cdot B$
4.	Радиус зубьев челюсти	м	$R_{3П(O_1C)}$	$(1,1 \dots 1,15) \cdot B$
5.	Радиус копания зубьями челюсти	м	$R_{3Ч(OD)}$	$1,25 \cdot \sqrt[3]{q} + 0,25 \text{ м}$
6.	Длина днища челюсти	м	$L_{ЧД}$	$(0,85 \dots 0,89) \cdot B$
7.	Ширина ковша	м	$B$	$1,7 \cdot \sqrt[3]{q} - 0,5 \text{ м}$
8.	Максимальный угол раскрытия челюсти ковша	град	$\alpha_{3X}$	105 ... 110
9.	Угол резания зубьев челюсти	град	$\alpha_3$	42...45
10.	Угол резания ножа челюсти	град	$\alpha_{ЧД}$	40...42
11.	Угол резания ножа ковша	град	$\alpha_K$	42...45

Примечание:  $R_{K(OA)} = R_{ЧА(O_1E)}$ ;  $R_{ЧА(O_1E)} \geq R_{3П(O_1C)}$ ;  $R_{3Ч(OC)} > R_{K(OA)}$ .  
 $q$  – геометрическая вместимость ковша, м<sup>3</sup>.

Для сравнения технико-экономических и эксплуатационных показателей экскаваторов различной грузоподъемности теоретически определялись: эксплуатационная производительность  $\Pi_э$ , удельные показатели работы экскаваторов: отношение производительности  $\Pi_э$  к массе машины  $M_э$ ; отношение производительности  $\Pi_э$  к фактору времени  $T_\phi$  – время разборки завала.

Производительность определялась, т/ч [12]:

$$\Pi_э = \frac{3600}{T_ц} \cdot Q \cdot K_G \cdot K_B, \quad (1)$$

где  $Q$  – грузоподъемность, т;  $T_ц$  – продолжительность цикла, с;

$K_G$  – коэффициент использования по грузоподъемности,  $K_G = 0,9$ ;

$K_B$  – коэффициент использования по времени,  $K_B = 0,85$ .

По расчетным показателям производительности и по техническим показателям экскаваторов были получены зависимости: изменения производительности  $\Pi_э$  от массы экскаватора  $M_э$  и от продолжительности рабочего цикла  $T_ц$ , от массы экскаватора  $M_э$  и грузоподъемности  $Q$ , а также зависимости изменения показателей  $\Pi_э/M_э$  и  $\Pi_э/T_\phi$  от грузоподъемности (рисунки 5 – 7).

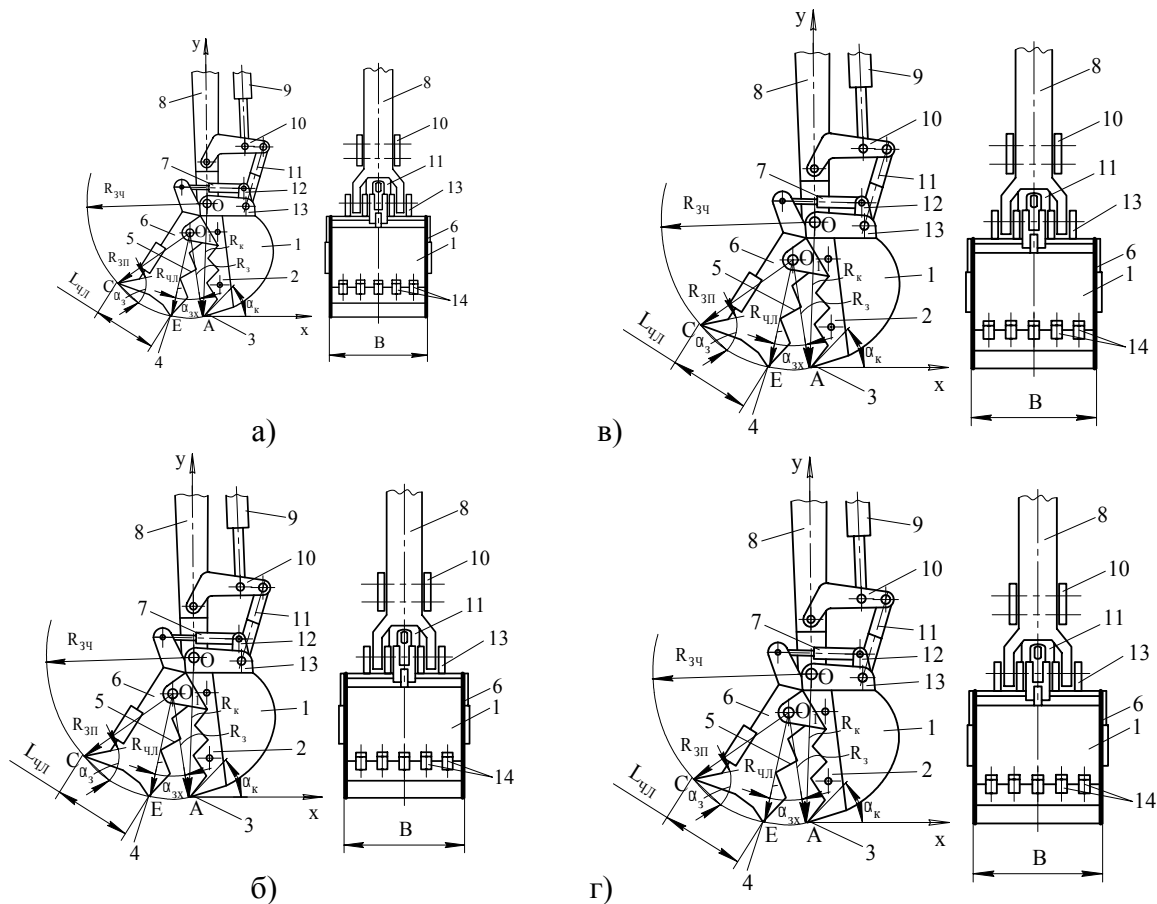


Рисунок 4 – Типоразмерный ряд ковшей с челюстью:  
 а) грузоподъемностью 0,5т; б) грузоподъемностью 1т;  
 в) грузоподъемностью 2,0т; г) грузоподъемностью 3,0т

Зависимости продолжительности рабочего цикла  $T_{ц}$  от массы экскаваторов  $M_э$  и от грузоподъемности  $Q$  (рисунок 5, а и 5, б) показывают, что с увеличением этих показателей возрастает продолжительность рабочего цикла, как для экскаваторов производства СНГ (1), так и для экскаваторов фирмы Caterpillar (2).

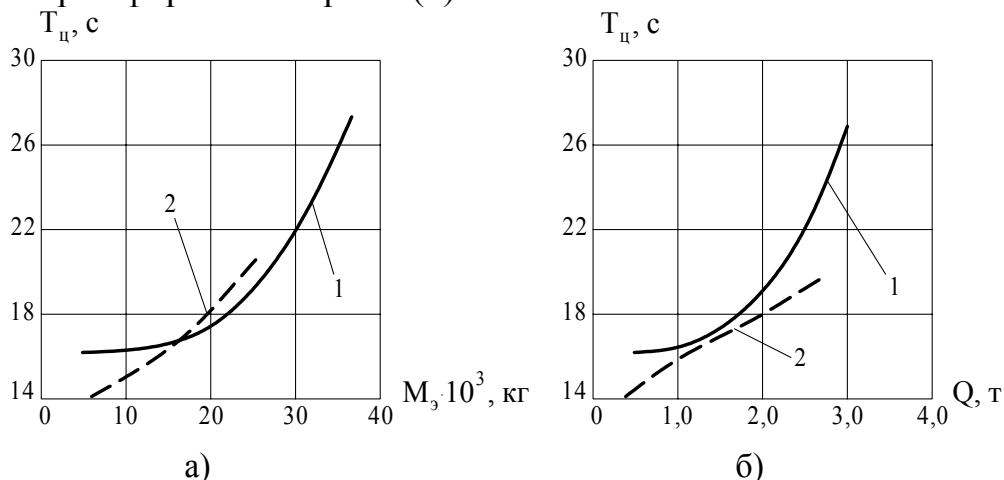


Рисунок 5 – Изменение продолжительности рабочего цикла экскаватора с захватом  $T_{ц}$  от: а) массы экскаватора  $M_э$ ; б) от грузоподъемности  $Q$ .  
 1 – экскаваторы производства стран СНГ; 2 – экскаваторы фирмы Caterpillar

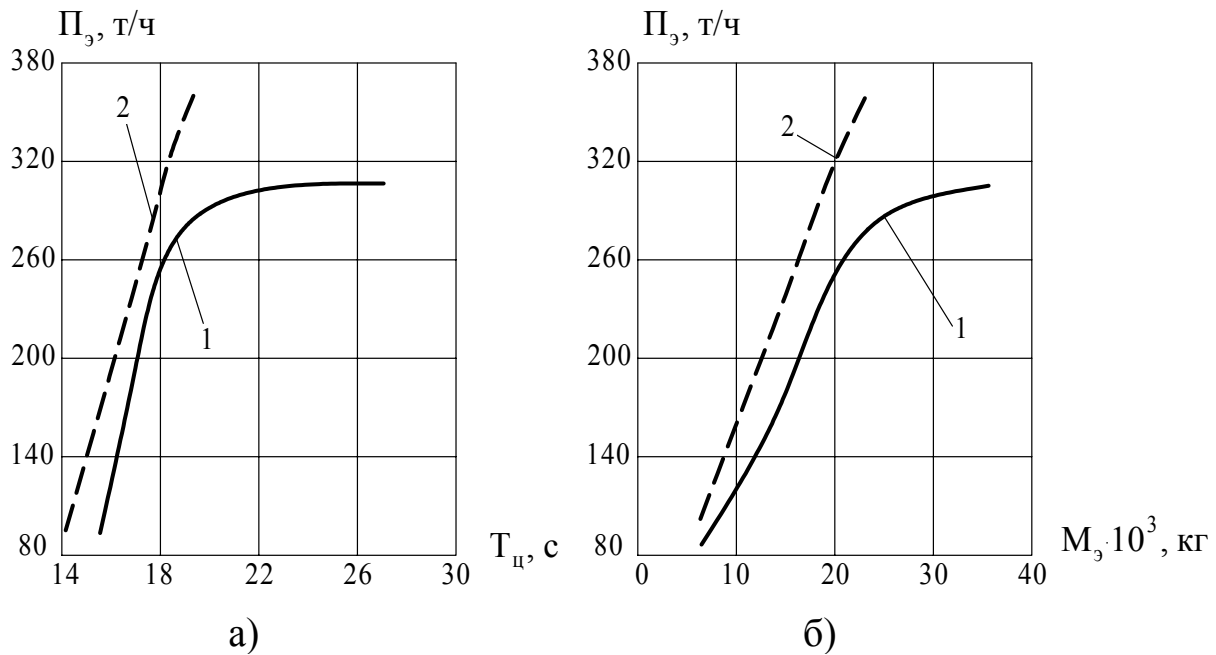


Рисунок 6 – Изменение производительности экскаватора с захватом  $P_3$  от:  
 а) продолжительности рабочего цикла  $T_{\text{ц}}$ ; б) от массы экскаватора  $M_3$ .  
 1 – экскаваторы производства стран СНГ; 2 – экскаваторы фирмы Caterpillar

Зависимости производительности  $P_3$  от продолжительности рабочего цикла  $T_{\text{ц}}$  и от массы экскаваторов  $M_3$  (рисунок 6, а и 6, б) показывают, что с увеличением  $T_{\text{ц}}$  и  $M_3$  практически линейно возрастает производительность  $P_3$  для экскаваторов фирмы Caterpillar (2), а для экскаваторов производства СНГ такая же зависимость наблюдается до значений  $T_{\text{ц}} = 18 \div 20$  с и  $M_3 = (23 \div 25) \times 10^3$  кг. При возрастании этих параметров дальше производительность  $P_3$  изменяет свой характер увеличения на более медленный.

Анализ удельного показателя  $P_3/M_3$ , в зависимости от грузоподъемности  $Q$  экскаваторов (рисунок 7, а), показывает, что наибольшее его значение имеют экскаваторы грузоподъемностью  $Q=0,5$  т (экскаваторы производства фирмы Caterpillar и СНГ), а также экскаваторы грузоподъемностью  $Q=2,5$  т экскаваторы производства фирмы Caterpillar.

Изменение удельного показателя  $P_3/T_{\text{ф}}$  от грузоподъемности  $Q$  имеет линейный характер (рисунок 6, б) и наибольшее значение достигает для экскаваторов с захватами грузоподъемностью  $Q = 2 \div 3$  т.

С целью получения рациональных параметров экскаваторов с захватами, были определены математические зависимости между основными показателями путем дифференцирования уравнения (1) по критериям оптимальности:



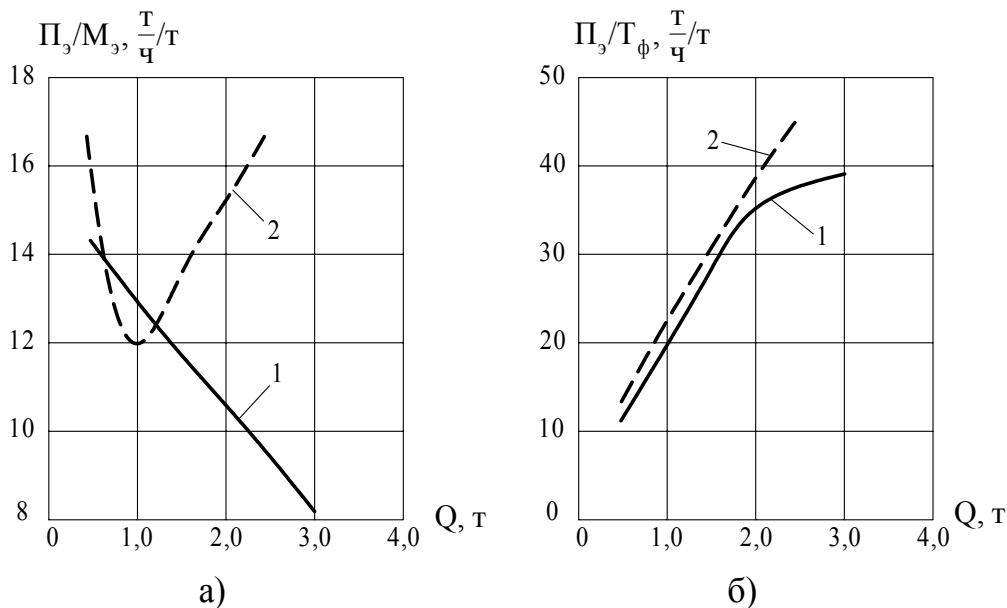


Рисунок 7 – Изменение показателей  $\Pi_3/M_3$  (а) и  $\Pi_3/T_\phi$  (б) от грузоподъемности экскаваторов  $Q$ .

1 – экскаваторы производства стран СНГ; 2 – экскаваторы фирмы Caterpillar

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Pi_3}{dT_{ц}} = 0; \quad \frac{d\Pi_3}{dM_3} = 0; \\ \frac{d(\Pi_3/M_3)}{dQ} = 0; \\ \frac{d(\Pi_3/T_\phi)}{dQ} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Полученные уравнения регрессии представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Уравнения регрессии основных показателей ковша экскаватора с гидроуправляемой челюстью от продолжительности цикла, собственной массы экскаватора и грузоподъемности

Тип экскаватора	Уравнения регрессии
Производство СНГ	$\Pi_3 = -2463,5 + 246,3 \cdot T_{ц} - 5,3 \cdot T_{ц}^2$ $\Pi_3 = -20,4 + 0,018 M_3 - 0,24 \cdot 10^{-6} M_3^2$ $\Pi_3/M_3 = 14,4 - 1,36 \cdot Q - 0,21 \cdot Q^2$ $\Pi_3/T_\phi = -3,77 + 31,3 \cdot Q - 5,74 \cdot Q^2$
Производство фирмы Caterpillar	$\Pi_3 = -491 - 88,3 \cdot T_{ц} - 5,3 \cdot T_{ц}^2$ $\Pi_3 = -87,7 - 4,47 \cdot 10^{-3} M_3 + 7,77 \cdot 10^{-7} M_3^2$ $\Pi_3/M_3 = 19,9 - 9,986 \cdot Q + 3,53 \cdot Q^2$ $\Pi_3/T_\phi = -2,13 + 21 \cdot Q - 1,47 \cdot Q^2$

Примечание:  $\Pi_3$  – производительность экскаватора, т/ч;

$T_{ц}$  – продолжительность рабочего цикла, с;

$M_3$  – масса экскаватора, кг;

$Q$  – грузоподъемность, т.

Полученные уравнения регрессии позволяют рассчитать и выполнить прогнозирование параметров экскаваторов с челюстным ковшом различной грузоподъемности и массы.

Определение рациональных параметров и формирование параметрического ряда ковшей экскаваторов с гидроуправляемой челюстью осуществлялось с учетом полученных технико-экономических показателей:

– удельный фактор  $P_3/T_{\phi} \rightarrow \max$ , характеризует количество единиц производительности, приходящейся на единицу фактора времени;

– удельный показатель  $P_3/M_3 \rightarrow \max$ , характеризует количество единиц производительности, приходящейся на единицу массы экскаватора.

Значение основных параметров ковша экскаватора с гидроуправляемой челюстью приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения основных параметров ковша экскаватора с гидроуправляемой челюстью для всего параметрического ряда

№ п/п	Параметр, размерность	Обозначение	Значение			
			Q=0,5 т	Q=0,5 т	Q=0,5 т	Q=0,5 т
1.	Радиус ковша, м	$R_{K(OA)}$				
2.	Радиус крепления челюсти, м	$R_{3(O_1A)}$	0,93	1,21	1,34	1,56
3.	Радиус челюсти, м	$R_{\text{чл}}(O_1E)$	0,93	1,21	1,34	1,56
4.	Радиус зубьев челюсти, м	$R_{3\text{п}}(O_1C)$	0,79	1,03	1,14	1,32
5.	Радиус копания зубьями челюсти, м	$R_{3\text{ч}}(OC)$	1,14	1,30	1,37	1,50
6.	Длина днища челюсти, м	$L_{\text{чл}}$	0,61	0,80	0,88	1,02
7.	Ширина ковша, м	$B$	0,71	0,93	1,03	1,2
8.	Максимальный угол раскрытия челюсти ковша, град	$\alpha_{3\text{х}}$	105...110	105...110	105...110	105...110
9.	Угол резания зубьев челюсти, град	$\alpha_3$	42...45	42...45	42...45	42...45
10.	Угол резания ножа челюсти, град	$\alpha_{\text{чл}}$	40...42	40...42	40...42	40...42
11.	Угол резания ножа ковша, град	$\alpha_K$	42...45	42...45	42...45	42...45

### **Выводы и перспективы дальнейших исследований.**

1. Разработан параметрический ряд экскаваторов с челюстным ковшом для выполнения работ по разработке завалов и рассчитаны их основные параметры из главного условия обеспечения устойчивости экскаваторов при подъеме максимальных грузов и с соблюдением допущения о минимальном значении фактора времени разборки завала ( $T\phi \rightarrow \min$ ).

2. Проанализировано влияние основных показателей экскаваторов на их эксплуатационные характеристики (на производительность и фактор времени разборки завалов) наибольшее влияние оказывают продолжительность рабочего цикла и масса захватываемого груза, закономерности изменения которых представлены на рис. 5 и рис. 6.

3. Полученные уравнения регрессии позволяют прогнозировать параметры для экскаваторов с ковшом с гидроруляемой челюстью в зависимости от продолжительности рабочего цикла  $T_{ц}$ , массы экскаватора  $M$ , и его грузоподъемности  $Q$ .

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Казаков Б. *Організація та проведення аварійно-рятувальних робіт на житлових будівлях і спорудах* / Б. Казаков, Е. Чадов // *Надзвичайна ситуація*. – 2007. – №6. – С. 44–49.

2. Савинов Н.А. *Строительная техника на спасательно-восстановительных работах: извлечь уроки из стихийного бедствия в Армении* / Н.А. Савинов, В.И. Поляков, В.П. Бакин // *Механизация строительства*. – 1989. – №7. – С. 2–4.

3. Бакин В.П. *Механизация на разборке завалов* / В.П. Бакин // *Механизация строительства*. – 1989. – №5. – С. 7–8.

4. Мірошніченко М. *Вибух газу – “це урок, який повинна засвоїти держава”* / М. Мірошніченко // *Надзвичайна ситуація*. – 2007. – №10. – С. 8–15.

5. Колосков В.Н. *Разборка жилых зданий и переработка их конструкций и материалов для повторного использования* / В.Н. Колосков, П.П. Олейник, Ф.А. Тихонов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 2004. – 200 с.

6. Хмара Л.А. *Використання будівельної техніки для виконання рятувальних та відновлювальних робіт при ліквідації наслідків стихійних лих та аварій* / Л.А. Хмара, С.В. Шатов // *Будівництво України*. – 2008. – № 5. – С. 34 – 39.

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

8. Хмара Л.А. Модернизация и повышение производительности строительных машин / Л.А. Хмара, Н.П. Колесник, В.П. Станевский . – К.: Будівельник, 1992. – 152 с.

9. Баловнев В.И. Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины: учебное пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины» для специальностей 170900, 230100, 150600 и 291800 / В.И. Баловнев. – Омск–М.: ОАО «Омский дом печати», 2006. – 320 с.

10. Хмара Л.А. Блок-пакет высокоэффективных машин и оборудования для жилищно-коммунального хозяйства / Л.А. Хмара, И.А. Соколов, С.В. Шатов // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: сб. науч. тр. – Д.: ПГАСиА, 2002. – Вып. 19. – С. 50–57.

11. Хмара Л.А. Технологія та обладнання для розборки та переробки зруйнованих споруд внаслідок стихійних лих / Л.А. Хмара, И.А. Соколов, С.В. Шатов // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: сб. науч. тр. – Д.: ПГАСиА, 2002. – Вып. 20. – С. 47–50.

12. Добронравов С.С. Строительные машины: справочник / С.С. Добронравов. – М.: Высшая школа, 1993. – 540с.