

УДК 621.879

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАКА ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ ЭКСКАВАТОРА

Аджатян Миша Гагикович, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, khanter.dzek@mail.ru

Аннотация. В статье разработана математическая модель определения рациональных параметров трака гусеничного движителя по критерию минимальной металлоемкости. Для корректного проведения вычислительного эксперимента приняты основные допущения, применяемые в математической модели. Предложены схемы внешней нагрузки на трак гусеницы и разработаны расчетные схемы трака как балки нагруженной распределенной нагрузкой со стороны грунта и сосредоточенной нагрузкой со стороны опорных катков гусеничного движителя. Определены внутренние силовые факторы, возникающие в поперечных сечениях, которые учитываются при определении металлоемкости трака. Разработаны сравниваемые типовые конструкции трака гусеницы. В работе приведен укрупненный алгоритм математической модели и определены исследуемые геометрические параметры трака гусеницы. Отдельно выделены постоянные исходные данные и переменные геометрические параметры трака, которые влияют на металлоемкость трака. По результатам проведенного вычислительного эксперимента получены графики изменения металлоемкости трака в зависимости от длины трака, высоты подошвы трака и конструкции трака. Показано, что имеются рациональные параметры и рациональная конструкция трака гусеницы. Снижение металлоемкости трака при выборе рациональных параметров и рациональной конструкции трака может достигать 42%.

Ключевые слова: экскаватор, опорный каток, гусеничный движитель, металлоемкость, трак гусеницы, длина трака, высота подошвы трака.

DEFINITION OF RATIONAL TRACK PARAMETERS EXCAVATOR CRAWLER ENGINE

Adzhatyan Misha G., undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, khanter.dzek@mail.ru

№ 1(23)
март 2020

Abstract. The article has developed a mathematical model for determining the rational parameters of a tracked vehicle track by the criterion of minimum metal consumption. For the correct conduct of the computational experiment, the basic assumptions used in the mathematical model are accepted. The schemes of the external load on the track track are proposed and the design schemes of the track as a beam with a distributed load on the ground side and a concentrated load on the side of the track rollers of the caterpillar drive are developed. The internal force factors arising in cross sections that are taken into account when determining the metal consumption of a truck are determined. Comparable typical track track designs have been developed. The paper presents an enlarged algorithm of the mathematical model and determines the investigated geometric parameters of the track track. Constant initial data and variable geometric parameters of the truck, which affect the metal consumption of the truck, are separately highlighted. Based on the results of the computational experiment, we obtained graphs of changes in the metal consumption of the truck depending on the length of the truck, the height of the sole of the truck and the design of the truck. It is shown that there are rational parameters and a rational design of the track track. The decrease in the metal consumption of the truck when choosing rational parameters and the rational design of the truck can reach 42%.

Key words: excavator, track roller, caterpillar mover, metal consumption, track track, track length, track sole height.

Введение

Горнодобывающая промышленность России на современном этапе характеризуется дальнейшим развитием открытого способа разработки полезных ископаемых [1]. В строительстве, гидромелиорации, на открытых горных разработках массовые земляные работы занимают одно из ведущих мест. Основной вид землеройных машин, используемых на земляных работах открытым способом, это экскаваторы, с помощью которых осуществляют экскавацию разрабатываемого грунта.

Увеличение объемов вскрышных и добычных работ ведет к увеличению экскаваторного парка. Значительный объем землеройных работ производится одноковшовыми экскаваторами (до 40% от объема всех землеройных работ) [2].

Экскаватор является металлоемкой машиной. Для его изготовления требуется большой объем различных сплавов железа в виде сталей. На одноковшовых экскаваторах очень часто в качестве ходового оборудования применяется гусеничный движитель. Широкое

распространение гусеничного хода экскаваторов объясняется его достоинствами, основные из которых это высокая проходимость и малое удельное давление на грунт [2].

Гусеничный движитель является одним из важнейших механизмов экскаваторов. Он определяет тяговые качества, производительность, экономичность и надежность экскаватора.

Одним из недостатков гусеничного движителя является его высокая металлоемкость (доходит до 25% от веса всей машины) [2]. Поэтому снижение металлоемкости гусеничного движителя является важной задачей при разработке новых конструкций экскаваторов. Одним из основных элементов конструкции гусеничного движителя является трак гусеницы.

Целью данной статьи является исследование рациональных параметров трака гусеницы экскаватора, способствующих снижению металлоемкости трака и в целом гусеницы гусеничного движителя.

Допущения и расчетные схемы, принятые при разработке математической модели исследования рациональных параметров трака

В качестве базового объекта исследования выбираем карьерный экскаватор ЭКГ-4,6 массой 196 т. Этот экскаватор имеет малоопорный гусеничный ход с 5-ю опорными катками. Длина гусеницы – $L = 6,085$ м, ширина гусеничного хода $a = 5,23$ м, ширина звена $l = 0,9$ м [3].

Основные необходимые конструктивные элементы трака гусеницы и их назначение следующие [4].

1. Подошва трака гусеницы. Обеспечивает передачу нагрузки от экскаватора на грунт. Вследствие этого испытывает изгиб.
2. Гребень трака. Он обеспечивает зацепление трака гусеницы с ведущим колесом. Через гребень обеспечивается движение гусеницы. Основная деформация – изгиб.

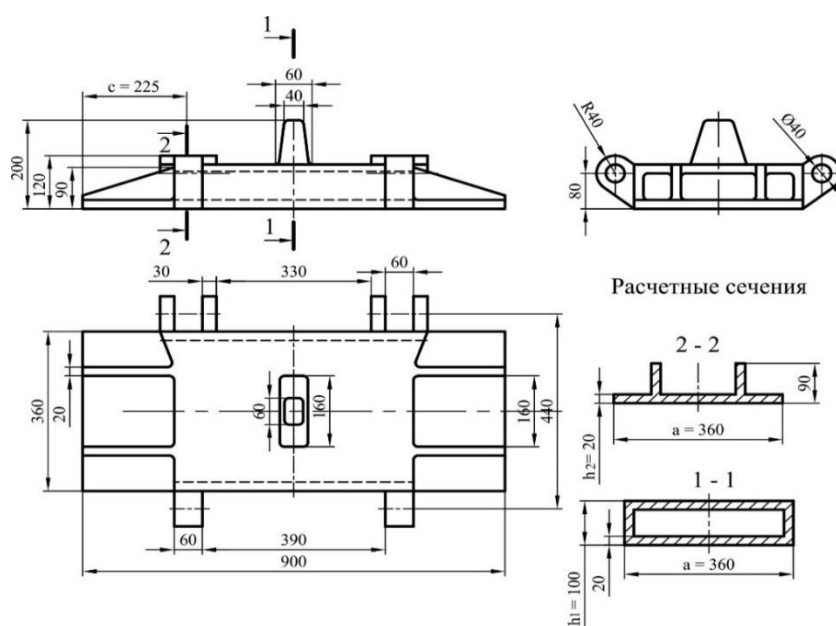
3. Уши и проушины. Через уши и проушины осуществляется соединение траков в гусеницу с помощью пальцев. Испытывают растяжение.

4. Беговая дорожка. По беговой дорожке движутся опорные катки и колеса.

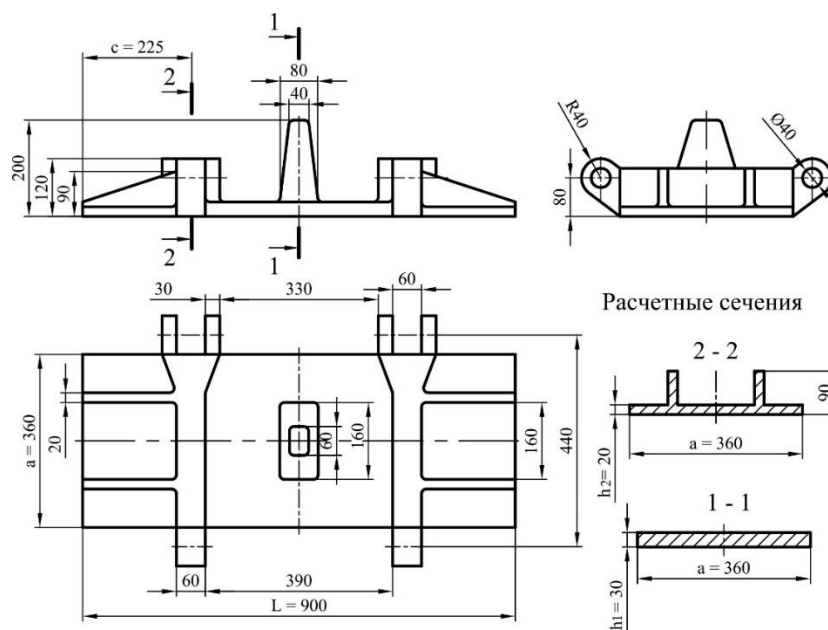
Таким образом, принципиально возможно две конструкции трака. Первый вариант конструкция трака – это подошва, выполненная в виде пластины, с расположенными на ней гребнями, ухом и проушинами (рис. 1, вариант №1). Второй вариант конструкции трака – это подошва, выполненная в виде коробчатого сечения, с расположенными на ней гребнями, ухом и проушинами (рис. 1, вариант №2).

Кроме этого, количество гребней трака может быть один, располагаемый по оси симметрии или два, располагаемые симметрично относительно оси симметрии. В первом варианте фактически получается две беговых дорожки по краям гребня трака, во втором случае – беговая дорожка располагается по оси симметрии.

Основную нагрузку от воздействия грунта на трак гусеницы воспринимает подошва трака. Основной вид деформации подошвы трака это изгиб.



Вариант №1



Вариант №2

Рис. 1. Конструкции трака

Трак при эксплуатации подвергается сложному воздействию внешних нагрузок, которые меняются как по величине, так и по направлению [5]. Для упрощения методики оценки величины металлоемкости трака гусеницы принимаем допущение, что основная доля внешних нагрузок действует на подошву трака гусеницы. Вследствие этого при исследовании можно принять массу трака гусеницы состоящей из двух частей – постоянной, независимой от параметров подошвы трака и переменной – собственно массе подошвы трака гусеницы, которая изменяется при изменении геометрических параметров трака гусеницы.

В качестве постоянной массы трака принимаем массу гребней, уха, проушин, ребер жесткости, в качестве переменной массы трака принимаем массу подошвы.

Расчетная схема трака гусеницы принимается в виде балки нагруженной распределенной внешней нагрузкой, действующей на подошву трака со стороны грунта, а со стороны опорных катков сосредоточенной силой. В качестве основного расчетного силового

фактора принимаем изгибающий момент, возникающий в сечениях подошвы трака. Внешние нагрузки, действующие на трак, определяем по источникам [6, 7, 8]. Расчетные схемы трака показаны на рис.2, 3.

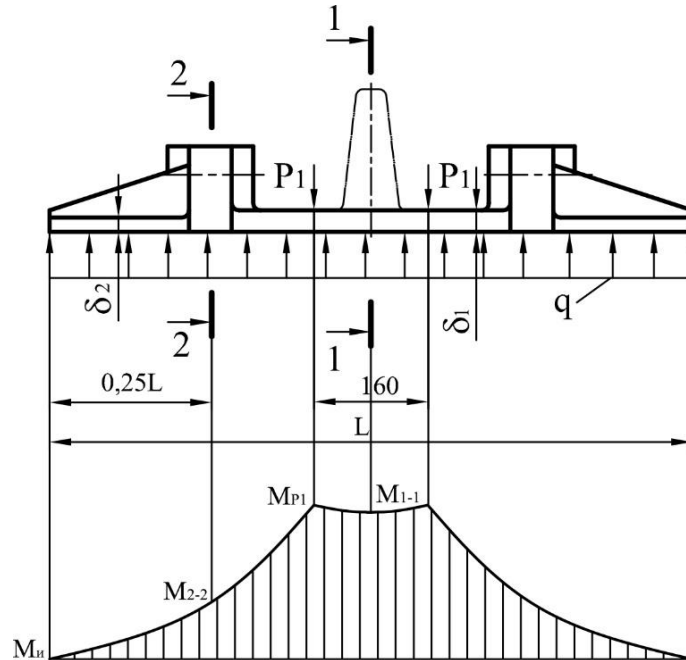


Рис.2. Расчетная схема №1 для определения массы трака

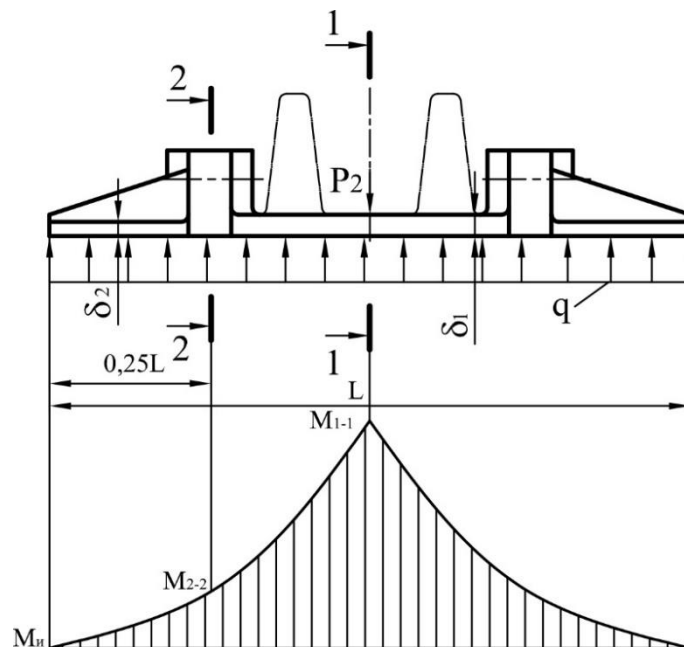


Рис.3. Расчетная схема №2 для определения массы трака

Масса трака гусеница равна сумме постоянной и переменной масс

$$M_{\text{тр}} = M_{\text{тр.пост.}} + M_{\text{тр.перем.}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{тр.пост.}}$ – постоянная масса трака, кг;

$M_{\text{тр.перем.}}$ – переменная масса трака, кг.

Постоянная масса трака, рассчитанная для выбранного прототипа равна $M_{\text{тр.пост.}} = 44,8$ кг. Переменная масса трака определяется следующим образом:

- при определении массы подошвы трака на участке от свободного края до сечения 2-2 в качестве расчетного изгибающего момента принимаем изгибающий момент, возникающий в сечении 2-2;

- при определении массы подошвы от сечения 2-2 до сечения 1-1 в качестве расчетного изгибающего момента принимаем изгибающий момент, возникающий в сечении где приложена сила P_1 для схемы №1 и в сечении 1-1 для схемы №2.

Определим величину нагрузок, действующих в расчетных схемах.

Сосредоточенная сила P_2 – равна усилию, действующему на опорный каток и определяется как максимальная из определяемых по методикам [6, 7, 8].

Сосредоточенная сила P_1 :

$$P_1 = \frac{P_2}{2}. \quad (2)$$

Распределенная нагрузка q :

$$q = \frac{P_2}{L} = \frac{2 * P_1}{L}. \quad (3)$$

Изгибающий момент в сечении 2-2:

$$M_{2-2} = \frac{q * (0,25 * L)^2}{2}. \quad (4)$$

Изгибающий момент в сечении, где приложена сила P_1 :

$$M_{P1} = \frac{q * \left(\frac{L}{2} - 0,08\right)^2}{2}. \quad (5)$$

Изгибающий момент в сечении 1-1:

$$M_{1-1} = \frac{q * (0,5 * L)^2}{2}. \quad (6)$$

Алгоритм расчета определения металлоемкости трака гусеницы

1. Задаемся длиной трака.
2. Определяем ширину трака.
3. Определяем изгибающий момент в расчетных сечениях трака.
4. Определяем площадь сечения расчетных сечений трака.
5. Определяем объем подошвы трака.
6. Определяем величину переменной массы трака.
7. Определяем полную массу трака.

Исходные условия

1. При изменении параметров трака гусеницы давление на грунт остается постоянным, т.е. площадь трака и давление на грунт остаются постоянными.
2. При расчете коробчатого сечения толщина полки варьируется, чтобы получить заданный запас прочности.
3. Принимаем заданный коэффициент запаса прочности равным 1,5.

Переменные параметры трака

L – длина трака гусеницы для вариантов №1 и №2, м

h_1 - высота звена в рабочем сечении для варианта трака №2 (коробчатое сечение), м;

δ_n – толщина полки коробчатого сечения, м;

Исходные данные

$S_0 = 0,324 \text{ м}^2$ – исходная площадь трака (по прототипу) [9];

$P_2 = 1196$ кН – сосредоточенная нагрузка от опорного катка в расчетной схеме №2;

$\sigma_T = 380$ МПа – предел текучести стали 110Г13Л [10];

$\delta_c = 0,6 * \delta_n$ – толщина стенки коробчатого сечения, м.

Результаты расчета рациональных параметров трака гусеницы

На рисунках 4-7 приведены результаты вычислительного эксперимента, проведенного по разработанной математической модели расчета массы трака гусеничного движителя.

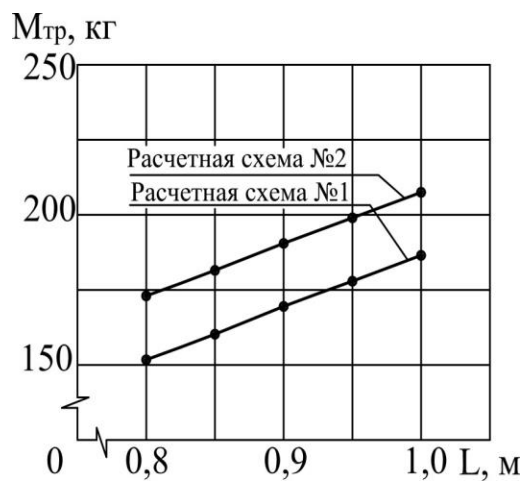
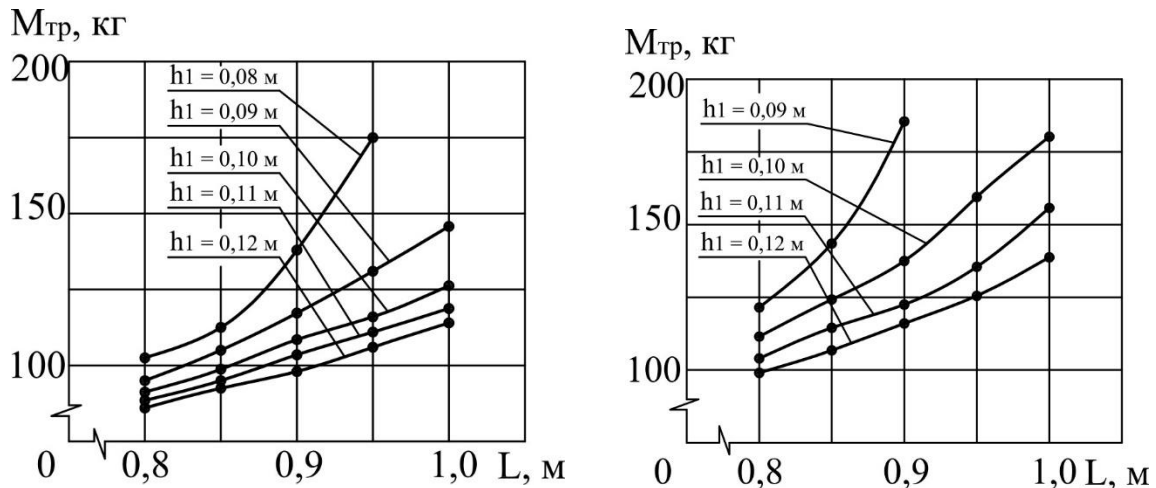


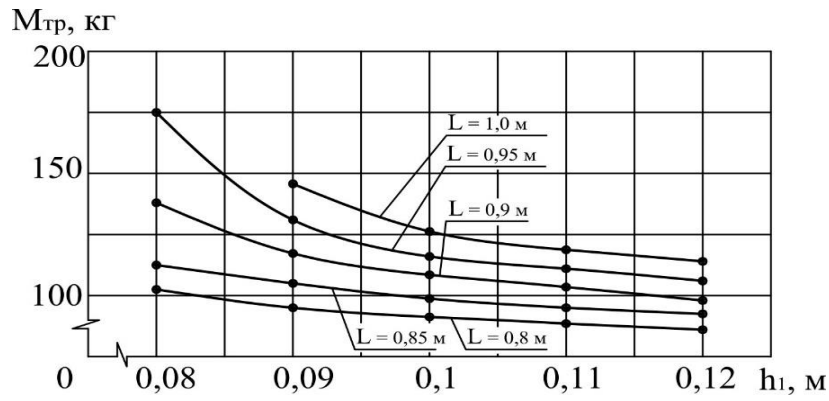
Рис.4. Масса трака для варианта конструкции №1 (подошва – пластина)



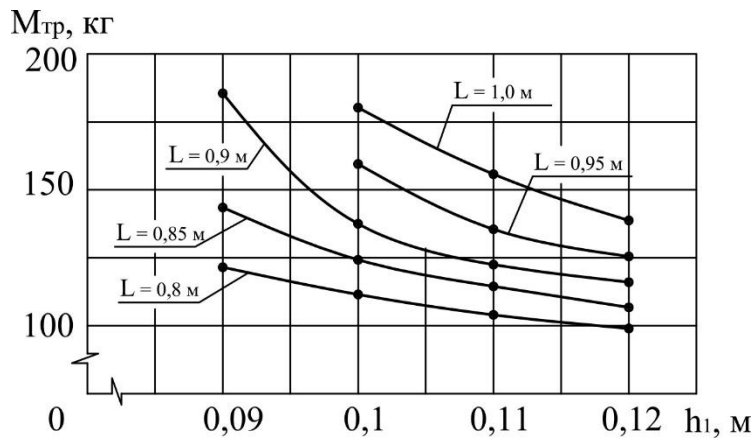
а) Расчетная схема №1

б) Расчетная схема №2

Рис.5. Схемы расчета



а) Расчетная схема №1



б) Расчетная схема №2

Рис. 6. Изменение массы трака для варианта конструкции №2 (подошва – коробка) при изменении высоты подошвы

Рис

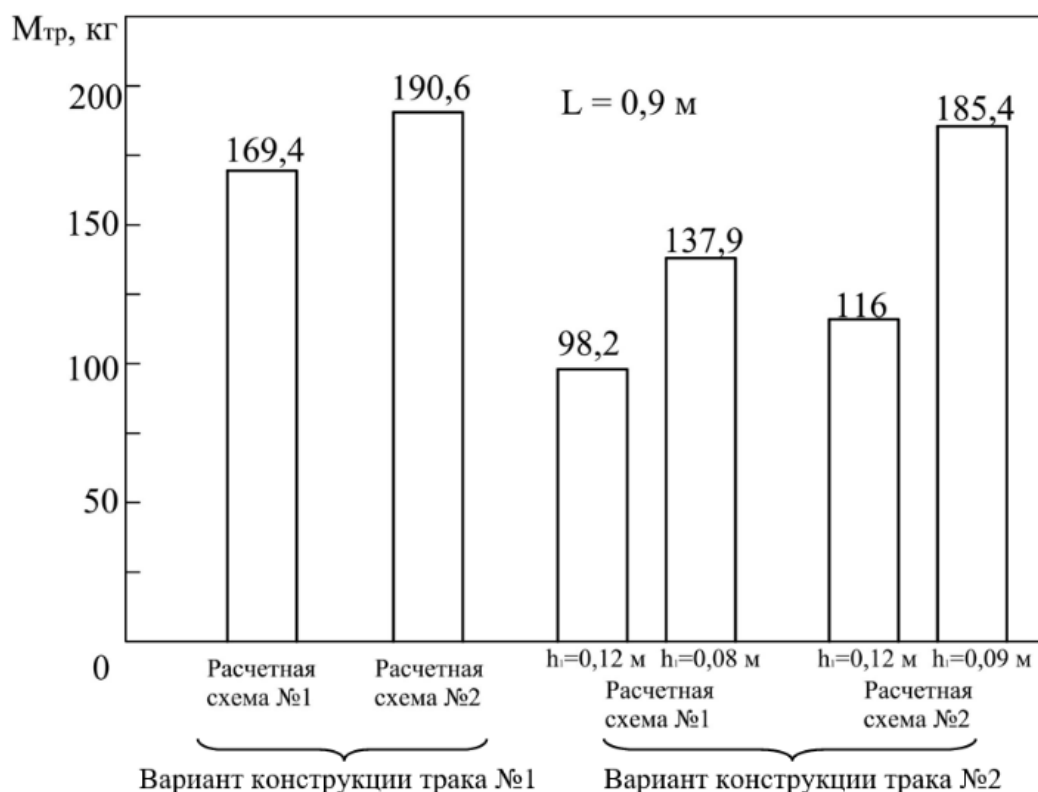


Рис.7. Сравнение массы конструкции трака для базового варианта в зависимости от конструкции и параметров трака

Анализ полученных зависимостей показал следующее:

1. При варианте конструкции трака №1 изменяемый параметр только длина трака L . Остальные геометрические параметры либо зависимые от переменного параметра, либо определяются заданной прочностью трака. Масса трака линейно уменьшается при уменьшении длины трака.
2. В варианте конструкции трака №2 влияние длины трака на массу нелинейно и масса трака быстро увеличивается при увеличении L при малой высоте коробчатого сечения.
3. Изменение массы трака в варианте №2 по высоте центрального сечения h_1 показывает, что при приближении к высоте сечения $h_1 = 0,12 \text{ м}$ функция выхолаживается и масса трака изменяется незначительно.
4. Сравнение базового варианта трака при $L = 0,9 \text{ м}$ показывает, что при применении конструкции коробчатого сечения можно значительно

снизить массу трака. Масса трака при выборе рациональных параметров и рациональной конструкции в базовом варианте может быть снижена со 190,6 кг до 98,2 кг. Это составляет около 42%.

5. Рекомендации по выбору рациональных параметров в результате проведенного численного эксперимента следующие:

- длина трака должна быть 0,8 – 0,9 м;
- конструкция центральной части трака должна быть коробчатого сечения;
- высота сечения центральной части должна быть примерно $h_1 = 0,12 - 0,15$ м.

Заключение

В статье исследована возможность снижения металлоемкости гусеничного движителя экскаватора за счет снижения массы траков гусеницы. Масса траков гусеницы уменьшается за счет выбора рациональных геометрических параметров трака и выбора рациональной конструкции трака. Основное влияние на снижение массы трака имеет применение коробчатого сечения на наиболее нагруженном участке трака.

Для расчета массы трака предложены две расчетные схемы нагружения трака. Составлена математическая модель расчета массы трака для четырех вариантов конструкции трака и двух схем нагружения.

Для проведения математического эксперимента с помощью математической модели составлена программа расчета в среде Excel. С помощью этой программы определена масса траков при изменении длины трака L и высоты центрального сечения трака h_1 . Определена зависимость влияния изменяемых параметров на массу трака при заданной прочности трака.

В работе предложены рациональные параметры трака для базового варианта и определена возможность снижения массы трака при применении рациональных параметров и рациональной конструкции

трака. Снижение массы трака от выбора рациональной конструкции и рациональных параметров для базового варианта экскаватора может достигать 42%.

Список литературы

1. Дроздова, Л.Г. Одноковшовые экскаваторы: конструкция, монтаж и ремонт: учеб. пособие / Л.Г. Дроздова, О.А. Курбатова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2013. – 235 с.
2. Кох, П.И. Одноковшовые экскаваторы. Устройство, монтаж, эксплуатация и ремонт / П.И. Кох. - М.: Машгиз, 2015. – 440 с.
3. Шостак, Я.Е. Экскаваторы / Я.Е. Шостак, А.М. Горнак – М.: Высшая школа, 2011. – 398 с.
4. Оскерко, В.Е. Повышение надежности ходовых систем гусеничного типа / В.Е. Оскерко // Строительные и дорожные машины. - 2011. - №9 – С.18-23.
5. Шемякин, С.А. Расчет землеройных машин: учеб. пособие / С.А. Шемякин, А.В. Лещинский. – Хабаровск: Изд-во тихоокеан. Гос. Ун-та, 2014 г. – 55 с.
6. Крупко, В.Г. Обоснование нагрузок на гусеничные движители землеройных машин / В.Г. Крупко, В.А. Койнаш, С.А. Ермакова // Автомобильный транспорт. - 2012. - вып. 31. - С.178-182.
7. Крутиков, И.П. Экскаваторы / И.П. Крутиков. - М.: Машиностроение, 2013. - 392 с.

References

1. Drozdova L.G., Kurbatova O.A. *Odnokovshovye ekskavatory: konstrukttsiia, montazh i remont* (Single bucket excavators: design, installation and repair), Vladivostok, Izd-vo DVG TU, 2013, 235 p
2. Kokh P.I. *Odnokovshovye ekskavatory. Ustroystvo, montazh, eksplua-tatsiya i remont* (Single bucket excavators. Device, installation, operation and repair), Moscow, Mashgiz, 2015, 440 p.
3. Shostak Ia.E., Gornak A.M. *Ekskavatory* (Excavators), Moscow, Vysshiaia shkola, 2011, 398 p.
4. Oskerko V.E. *Stroitelnie i dorozhnye mashiny*, no. 9, 2011, pp. 18-23.
5. Shemiakin S.A., Leshchinskii A.V. *Raschet zemleroinykh mashin* (Calculation of earthmoving machines), Khabarovsk, Izd-vo tikhookean. Gos. Un-ta, 2014, 55 p.
6. Krupko V.G., Koynash V.A., Ermakova S.A. *Avtomobilnyy transport*, no. 31, 2012, pp.178-182.
7. Krutikov I.P. *Ekskavatory* (Excavators), Moscow, Mashinostroenie, 2013, 392 p.

Рецензент: Н.Д. Селиверстов, канд. техн. наук, доц., МАДИ.