

УДК 621.879

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК НА ГУСЕНИЧНОЕ ЗВЕНО ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

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

Аннотация. В статье определены достоинства и недостатки ходового оборудования экскаватора в виде гусеничного движителя. Рассмотрено нагружение опорных элементов малоопорной гусеничной ходовой тележки одноковшового экскаватора. Принята расчетная схема ходовой тележки экскаватора. Составлена математическая модель расчета нагрузок опорных элементов. С помощью математической модели определены внешние нагрузки, действующие на опорные элементы ходовой тележки гусеничного движителя экскаватора, при изменении угла поворота платформы экскаватора и вылета равнодействующей. Приведены графики изменения внешней нагрузки, действующей на опорные катки ходовой тележки гусеничного движителя экскаватора.

Ключевые слова: экскаватор; опорный элемент; гусеничная тележка; металлоемкость; звено гусеницы.

RESEARCH OF LOADS ON THE TRACKED UNIT OF A SINGLE BUCKET EXCAVATOR WITH THE HELP OF A MATHEMATICAL MODEL

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

Abstract. The article identifies the advantages and disadvantages of the running equipment of the excavator in the form of a tracked propulsion unit. The loading of supporting elements of a low-support tracked undercarriage of a single-bucket excavator is considered. The design scheme of the excavator trolley is adopted. Compiled a mathematical model for calculating the loads of supporting elements. Using a mathematical model, external loads are determined that act on the supporting elements of the undercarriage of a crawler excavator when the angle of rotation of the excavator platform and the departure of the resultant is changed. The graphs of changes in the external load acting on the support rollers of the undercarriage of a crawler tracker of the excavator are given.

Key words: excavator; support element; tracked trolley; metal intensity; track link.

Введение

Развитие различных отраслей промышленности России, особенно строительной и добычи полезных ископаемых, невозможно без большого

объема землеройных работ. Значительный объем землеройных работ производится одноковшовыми экскаваторами (до 40% от объема всех землеройных работ) [1].

На одноковшовых экскаваторах очень часто в качестве ходового оборудования применяется гусеничный движитель. Гусеничный ход является наиболее распространенным видом ходового оборудования одноковшовых экскаваторов. Широкое распространение гусеничного хода экскаваторов объясняется следующими достоинствами [1]:

- 1) хорошее сцепление гусениц с грунтом и возможность получения на них больших тяговых усилий;
- 2) возможность передвижения по неподготовленной трассе, имеющей большие неровности, навалы и др.;
- 3) возможность преодоления больших подъемов и уклонов (до 15°);
- 4) сравнительно малое удельное давление на грунт (0,05–0,25 МПа);
- 5) достаточные скорости передвижения (до 2,4 км/ч);

Недостатками гусеничного ходового оборудования является наличие большого количества подвижных соединений деталей, слабозащищенных от попадания абразивной среды на трущиеся поверхности и поэтому большая интенсивность изнашивания деталей гусеничного хода. Кроме этого, существенным недостатком является увеличенная по сравнению с пневмоколесным ходом металлоемкость конструкции. Масса конструкции гусеничного хода достигает 25–35% от общей массы экскаватора.

Снижение металлоемкости гусеничного движителя при сохранении заданной прочности и надежности является актуальной задачей, позволяющей снизить затраты на его изготовление. Для эффективной оценки возможностей снижения металлоемкости гусеничного движителя необходимо знать распределение внешних нагрузок на его элементы (катки и траки). Определение внешних нагрузок на опорные элементы гусеничного движителя исследовалось в работах [2–4, 6].

Целью данной работы является исследование величины внешней нагрузки, возникающей на опорных катках в зависимости от поворота стрелы и вылета стрелы.

Математическая модель для определения нагрузок на гусеничное звено

В качестве 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 $a = 5,23$ м, ширина звена $l = 0,9$ м. Схема гусеничной тележки экскаватора представлена на рис. 1.

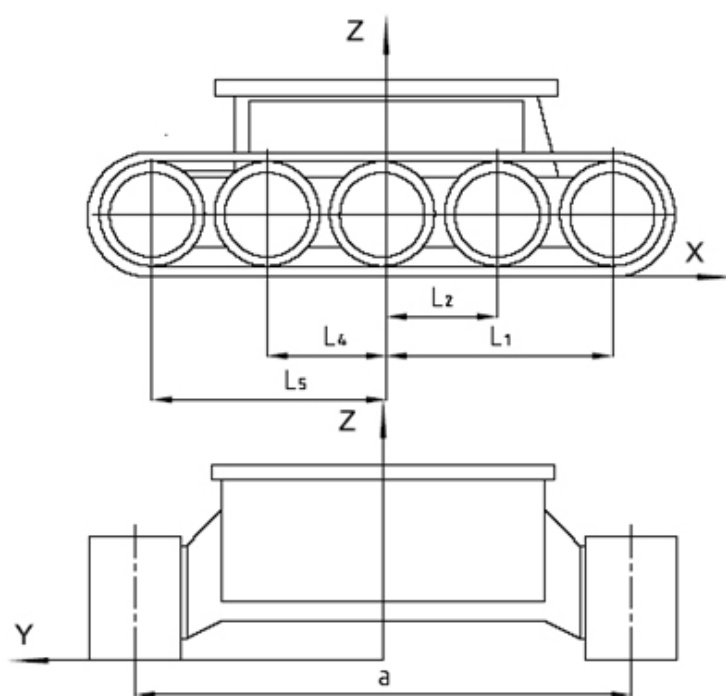


Рис. 1. Схема гусеничной ходовой тележки

Расчетная схема ходовой тележки представляется в виде жесткого контура в виде плоскости, который опирается на 10 ходовых катков. Взаимодействие контура с грунтом представляется в виде 10 упругих опор. Каждый опорный элемент имеет опорную площадь F_i . Реакция почвы определяется коэффициентом податливости k , глубина внедрения каждого

опорного элемента обозначается h_i . Расчетная схема определения реакций опорных катков представлена на рис. 2.

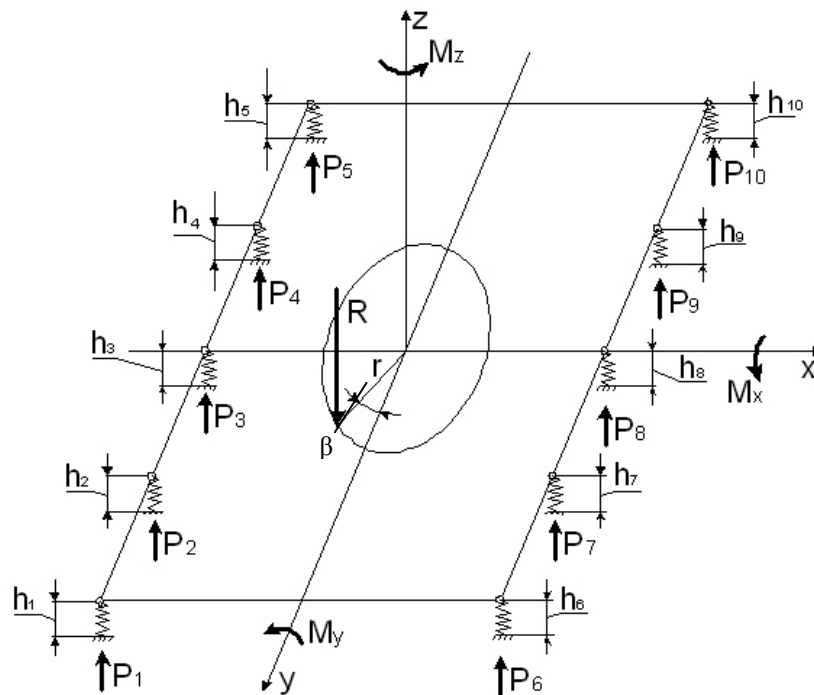


Рис. 2. Расчетная схема определения равнодействующей силы R , приложенной в точке нагрузок на опорные катки, определяемой радиусом выбега r

Все внешние нагрузки приводятся к равнодействующей силы R , приложенной в точке, определяемой радиусом выбега r .

При расчетах приняты следующие допущения:

- почва под отдельно взятой опорой представляет собой однородное тело и связь между давлением опоры и деформацией грунта линейный;
- рама экскаватора абсолютно жесткая;

Деформацию грунта определим по формуле Домбровского [2]

$$h = k \cdot p, \quad (1)$$

где h – деформация грунта под опорой, м; p – давление опоры на грунт, Па; k – коэффициент податливости грунта, Н/м³.

$$p = \frac{P}{F}, \quad (2)$$

где P – усилие со стороны опоры на грунт, Н; F – площадь опорной поверхности, м².

$$k = \frac{1}{p_0}, \quad (3)$$

где p_0 – коэффициент объемного сопротивления грунта смятию, $\text{м}^3/\text{Н}$.

Составим уравнения равновесия сил и моментов, действующих на раму экскаватора.

Сумма проекций всех сил на ось Z

$$\sum_{i=1}^{2n} P_i - R = 0, \quad (4)$$

где n – количество опорных поверхностей на одной гусенице; P_i – реакции опор на опорные катки; R – равнодействующая внешних сил.

Сумма моментов всех сил относительно оси Y

$$\frac{a}{2} \cdot \sum_{i=1}^n P_i + \left(-\frac{a}{2}\right) \cdot \sum_{i=n+1}^n P_i + R \cdot r \cdot \sin \beta = 0, \quad (5)$$

где a – колея гусеничного хода; r – выбег равнодействующей всех сил, м ; β – угол между вектором r и осью Y .

Сумма моментов всех сил относительно оси X

$$\sum_{i=1}^{2n} (P_i \cdot L_i) - R \cdot r \cdot \cos \beta, \quad (6)$$

где L_i – расстояние от центра до i -й опоры.

Трех уравнений статики недостаточно для определения $2n$ неизвестных. Для получения дополнительных уравнений используем уравнение плоскости жесткой рамы, заданное координатами трех любых опорных точек, не лежащих на одной прямой. Плоскость определим в координатах X, Y, h . Координата h определяет глубину погружения опорной точки в грунт, а координаты X, Y определяют расположение опорных точек в плоскости.

В качестве начальных опорных точек принимаем точки 1, 2, 6. Запишем уравнение плоскости в матричной форме:

$$\begin{vmatrix} x_i - x_1 & y_i - y_1 & h_i - h_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & h_2 - h_1 \\ x_6 - x_1 & y_6 - y_1 & h_6 - h_1 \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Сгруппируем составляющие уравнения по переменным x, y, h и получим

$$h_1 \cdot u_1 + h_2 \cdot u_2 + h_6 \cdot u_6 + h_i \cdot u_i = 0, \quad (8)$$

$$u_1 = (x_i - x_1) \cdot (y_6 - y_2) + (y_i - y_1) \cdot (x_2 - x_6) - e;$$

$$u_2 = (x_i - x_1) \cdot (y_1 - y_6) + (y_i - y_1) \cdot (x_6 - x_1); \quad (9)$$

$$u_6 = (x_i - x_1) \cdot (y_2 - y_1) + (y_i - y_1) \cdot (x_1 - x_2);$$

$$e = (x_2 - x_1) \cdot (y_6 - y_1) - (y_2 - y_1) \cdot (x_6 - x_1).$$

где

Подставим в уравнение (8) зависимость (1) с учетом (2) и получим

$$\frac{k_1 \cdot P_1}{F_1} \cdot u_1 + \frac{k_2 \cdot P_2}{F_2} \cdot u_2 + \frac{k_6 \cdot P_6}{F_6} \cdot u_6 + \frac{k_i \cdot P_i}{F_i} \cdot e = 0.$$

Подставляя координаты опорных точек (кроме базовых) получим дополнительные $2n - 3$ уравнений.

Расчет нагрузок опорных элементов гусеничной тележки

Результаты расчетов по распределению нагрузок на опорные катки в зависимости от угла поворота платформы представлены на рис. 3 и в зависимости от вылета стрелы при угле поворота платформы равном 0 представлены на рис. 4.

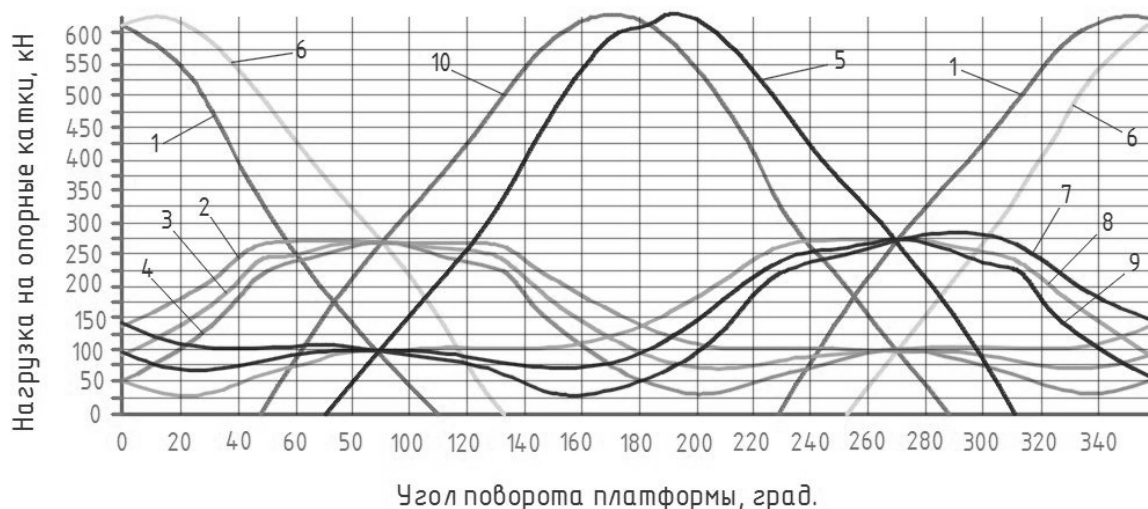


Рис. 3. Изменение нагрузки опорных элементов экскаватора при повороте платформы

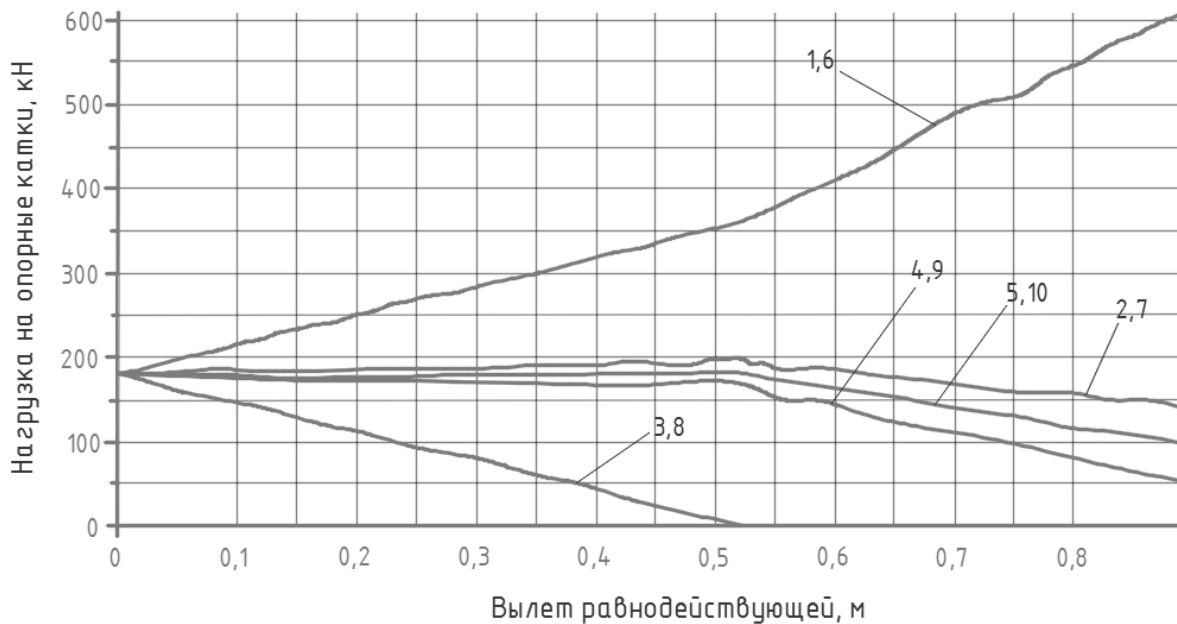


Рис. 4. Изменение нагрузки опорных элементов экскаватора при изменении вылета равнодействующей

Анализ графиков изменения нагрузки опорных элементов позволяет сделать следующие выводы:

- нагрузка опорных элементов в процессе работы машины носит колебательный характер, что влияет на их ресурс;
- наибольшая нагрузка в процессе работы экскаватора приходится на крайние катки;
- наименее нагруженными являются опорные катки, расположенные около оси поворотной части экскаватора (опоры 3, 8);
- амплитуда колебания нагрузок на опорные элементы возрастает при удалении опоры от центра вращения поворотной платформы;
- на максимальном вылете равнодействующей задние опорные катки полностью разгружаются и приподнимаются. При дальнейшем снижении внешней нагрузки происходит удар задних опорных катков о грунт.

Первый опорный элемент отрывается от грунта при угле поворота платформы $\varphi = 110^\circ\text{--}230^\circ$; пятый при $\varphi = 0^\circ\text{--}70^\circ, 310^\circ\text{--}360^\circ$; шестой при $\varphi = 130^\circ\text{--}250^\circ$; десятый при $\varphi = 0^\circ\text{--}50^\circ, \varphi = 290^\circ\text{--}360^\circ$;

При повороте платформы на угол $\varphi = 90^\circ$ загрузка всех опорных точек на каждой гусенице выравнивается ($P = 265$ кН – для правой гусеницы и $P = 95$ кН – для левой гусеницы, при $\varphi = 270^\circ$ – наоборот).

При вылете равнодействующей около $r = 0,52$ м при $\varphi = 0^\circ$ наблюдается отрыв задних опор.

Заключение

В работе составлена математическая модель расчета нагрузок на опорные элементы малоопорной гусеничной ходовой тележки экскаватора. Выполнен анализ этих нагрузок в зависимости от угла поворота платформы экскаватора и вылета равнодействующей. Определены максимальные нагрузки на опорные элементы гусеничной тележки. Отмечены особенности нагружения опорных элементов гусеничной тележки экскаватора.

Список литературы

1. Кох, П.И. Одноковшовые экскаваторы. Устройство, монтаж, эксплуатация и ремонт / П.И. Кох. – М.: Машгиз, 1963. – 440 с.
2. Теория и расчет гусеничного движителя землеройных машин / Н.Г. Домбровский, А.Г. Маевский, И.М. Гомогозов, В.М. Гилис. – Киев: Техника, 1970. – 192 с.
3. Лях, П.Ф. Сравнительный анализ, структурных и эксплуатационных параметров опорных элементов гусеничных механизмов перемещения мощных экскаваторов / П.Ф. Лях, И.В. Крупко // Повышение эффективности технологического оборудования для обработки грузов, строительных и Kolejных работ на железнодорожном транспорте. – 1999. – № 36. – С. 117–120.
4. Оскерко, В.Е. Повышение надежности ходовых систем гусеничного типа / В.Е. Оскерко // Строительные и дорожные машины. – 1987. – № 9. – С. 18–23.
5. Крупко, В.Г. Обоснование нагрузок на гусеничные движители землеройных машин / В.Г. Крупко, В.А. Койнаш, С.А. Ермакова // Автомобильный транспорт. – 2012. – № 31. – С. 178–182.
6. Основы расчета и конструирования подъемно-транспортных машин / М. Шеффлер, Г. Пайер, Ф. Курт, И. Абрамович. – М.: Машиностроение, 1980. – 255 с.
7. Рейш, А.К. Повышение долговечности деталей опорных элементов гусеничного хода универсальных экскаваторов / А.К. Рейш. – М.: Машиностроение, 1962. – 184 с.

8. Гальперин, М.И. Строительные машины: учебник для вузов / М.И. Гальперин, Н.Г. Домбровский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1980. – 344 с.
9. Крутиков, И.П. Экскаваторы / И.П. Крутиков. – М.: Машиностроение, 1964. – 392 с.
10. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

References

1. Koh P.I. *Odnokovshovye ekskavatory. Ustrojstvo, montazh, ekspluataciya i remont* (Shovel excavators. Device, installation, operation and repair), Moscow, Mashgiz, 1963, 440 p.
2. Dombrovskij N.G., Maevskij A.G., Gomogozov I.M., Gilis V.M. *Teoriya i raschet gusenichnogo dvizhitelya zemlerojnyh mashin* (Theory and design of caterpillar tracks machinery), Kiev, Tekhnika, 1970, 192 p.
3. Lyah P.F., Krupko I.V. *Povyshenie effektivnosti tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya obrabotki грузов, stroitel'nyh i kolejnyh rabot na zheleznodorozhnom transporte*, 1999, no. 36, pp. 117–120.
4. Oskerko V.E. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 1987, no. 9, pp. 18–23.
5. Krupko V.G., Kojnash V.A., Ermakova S.A. *Avtomobil'nyj transport*, 2012, no. 31, pp. 178–182.
6. Sheffler M., Pajer G., Kurt F., Abramovich I. *Osnovy rascheta i konstruirovaniya pod'emno-transportnyh mashin* (Bases of calculation and design of hoisting machines), Moscow, Mashinostroenie, 1980, 255 p.
7. Rejsh A.K. *Povyshenie dolgovechnosti detalej opornyh elementov gusenichnogo hoda universal'nyh ekskavatorov* (Increase of durability of details of pillars of the universal crawler excavators), Moscow, Mashinostroenie, 1962, 184 p.
8. Gal'perin M.I., Dombrovskij N.G. *Stroitel'nye mashiny* (Construction machinery), Moscow, Vysshaj shkola, 1980, 344 p.
9. Krutikov I.P. *Ekskavatory* (Excavators), Moscow, Mashinostroenie, 1964, 392 p.
10. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskij Yu.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij* (Experiment planning in search of optimal conditions), Moscow, Nauka, 1976, 279 p.