ISSN 1816-4528 (Print) **ISSN 2949-0634 (Online)**

Научная статья

УДК 622-1/-9
DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-113-120

Левашова Елена Евгеньевна

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

* для корреспонденции: pee5152@rambler.ru

РАСЧЕТ УСИЛИЙ НА ОСЬ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА

Аннотация.
При работе на горных предприятиях карьерные экскаваторы испытывают значительные нагрузки, в том числе на ось рабочего оборудования, срок эксплуатации которой в настоящее время составляет 12 месяцев для P&H 2800 XPC и 6 месяцев для ЭКГ-36. Для проектирования последовательности выполнения ремонта и необходимых сварочных материалов определили усилия, возникающие в детали при эксплуатации в разных условиях. В статье представлены результаты расчетов наибольших возможных прикладываемых усилий напора и копания, приходящихся на ось рабочего оборудования карьерных экскаваторов P&H 2800 XPC и ЭКГ-35. При расчетах учитывали условия эксплуатации с разной степенью тяжести пород (легкие, средние, тяжелые) и в трех положениях ковша (начало копания, ковш пустой; рукоять наклонена под углом 45°, ковш заполнен наполовину; ковш с грунтом на наибольшем вылете, ковш заполнен полностью). При расчетах принимали во внимание характеристики карьерных экскаваторов, такие как объем ковша, вес ковша, высота копания, радиус копания и другие рабочие параметры. Получены сопоставимые значения разных карьерных экскаваторов, что свидетельствует об одинаковых условиях работы, установлено, что максимальное усилие составляет 1395,7 кН и прикладывается при положении ковша I (начало копания, ковш пустой) для тяжелых пород (скальные породы малотрещиноватые, тяжелые руды и монолитные скальные породы, тяжелые руды малотрещиноватые). Максимальное усилие напора (3731,2 кН) соответствует положению ковша I для легких пород (мягкие и рыхлые грунты, угли; очень плотные грунты, полускальные породы, крепкие и очень крепкие угли, прочные полускальные породы, грунты и породы при промерзании на глубину 1-2 м; скальные породы средней трещиноватости).

CC BY

Информация о статье
Поступила:
19 мая 2026 г.

Одобрена после рецензирования:
01 сентября 2026 г.

Принята к печати:
15 сентября 2026 г.

Ключевые слова:
горное оборудование, горное предприятие, карьерный экскаватор, ось рабочего оборудования ковша, расчет усилия напора, расчет усилия копания, категория пород

Для цитирования: Левашова Е.Е. Расчет усилий на ось рабочего оборудования экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. 2026. № 4 (186). С. 113-120. DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-113-120, EDN: BWQCVL

Введение

В процессе эксплуатации карьерных экскаваторов на рабочий орган приходятся как ударные, так и статические нагрузки, а также не исключается износ деталей по естественным причинам и фактор окружающей среды [1–5].

Основные нагрузки приходятся на узлы осей (пальцев) и втулок, в особенности на узел соединения ковша и коромысла. Аварийная остановка может произойти по причине износа оси или втулки из-за увеличения зазора, что приводит к ускоренному разрушению сопряжения, от своевременной замены деталей зависит срок безаварийной работы экскаватора. Наибольшему износу подвергнуты оси, они подлежат замене при первых ощутимых следах износа (1-5 мм), импортные детали имеют сложный химический состав и структуру. Поскольку замена импортных деталей в настоящее время нецелесообразна из-за логистики, а покупка у сторонних организаций деталей-аналогов по цене ниже, но ресурс снижен на 40-50%, единственным решением является восстановление работоспособности осей. В то же время срок эксплуатации оси рабочего оборудования в настоящее время составляет 12 месяцев для P&H 2800 XPC и 6 месяцев для ЭКГ-36.

Таким образом, цель настоящей работы заключается в сопоставлении расчетных значений нагру-

зок, действующих на оси рабочего оборудования карьерных экскаваторов отечественного и зарубежного производства, для оценки их влияния на ресурс.

Для восстановления габаритных размеров и придания определенных свойств деталям применяют разные способы. Были изучены механические свойства оси узла крепления ковша карьерного экскаватора P&H 2800 XPC, результаты исследований представлены в работах [6–10].

При работе карьерного экскаватора в оси узла крепления ковша возникают усилия копания и

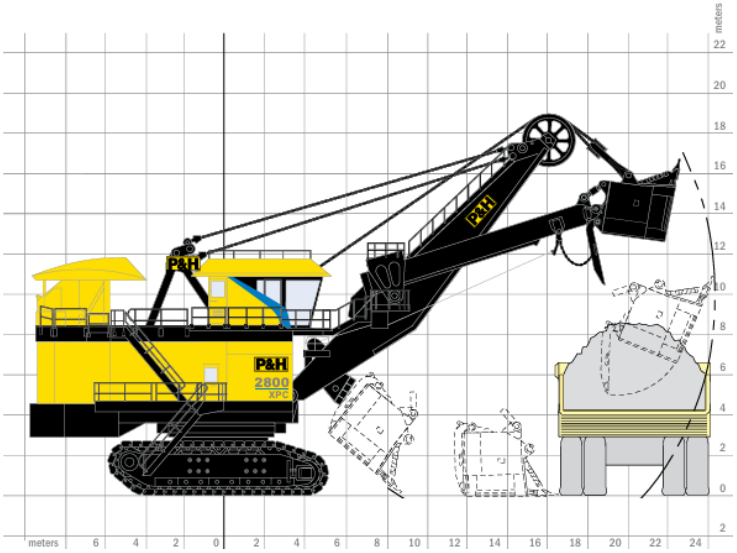

Рис. 1. Общий вид экскаватора P&H 2800 XPC
Fig. 1. General view of the P&H 2800 XPC excavator

Таблица 1. Основные технические характеристики
Table 1. Main technical characteristics

Параметры	Ед. Изм.	Значение
Рабочие параметры		
Вместимость основного ковша	$м^3$	36
Полезная нагрузка в ковше	т	59
Высота копания наибольшая	м	16,6
Радиус копания наибольший	м	24,2
Радиус копания на уровне стояния	м	16,4
Радиус разгрузки наибольший	м	16,6
Высота разгрузки наибольшая	м	10,5
Массогабаритные характеристики		
Удельное давление на грунт	МПа	0,442
Высота экскаватора: по головным блокам по двуногой стойке	м м	19,0 12,4
Габаритный радиус: по головным блокам по поворотной платформе	м м	16 8,9
Рабочее оборудование		
Тип напорного механизма		канатный
Исполнение рукояти		двухбалочный
Исполнение стрелы		двухбалочная
Электродвигатели главных приводов		

Привод	Мощность, кВт	
	постоянный ток	переменный ток
Подъема	4640	2388
Напора	1160	695
Поворота	3480	1363
Хода	2320	1973

напора, для определения данных параметров выполнили расчеты согласно [11–20] для карьерного экскаватора P&H 2800 XPC с объемом ковша 33,6 м^3 (Рис. 1, Таблица 1) для трех положений ковша и трех групп пород (Таблица 2):

- положение I (начало копания, ковш пустой);
- положение II (рукоять наклонена под углом 45°, ковш заполнен наполовину);
- положение III (ковш с грунтом на наибольшем вылете, ковш заполнен полностью).

Для расчета максимального подъемного усилия необходимо рассчитать стопорный момент по формуле:

$$M_{\text{ст}} = \frac{K \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot n}, \text{кН} \cdot \text{м} \qquad (1)$$

где $M_{\text{ст}}$ – стопорный момент, кН · м;

K – отношение $M_{\text{ст}}/M_{\text{н}}$ электродвигателей ($K = 2{,}2 - 2{,}4$);

N – номинальная суммарная мощность всех электродвигателей подъемной лебедки, кВт ($N = 4640$ кВт);

n – номинальная частота вращения электродвигателей, с$^{-1}$.

$$M_{\text{ст}} = \frac{2{,}3 \cdot 4640}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 15} = 113{,}3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Максимальное подъемное усилие:

$$S_{\text{п}max} = \frac{2 \cdot M_{\text{ст}} \cdot i \cdot \eta_{\text{об}}}{D_{\text{б}}}, \text{кН} \qquad (2)$$

где $S_{\text{п}max}$ – максимальное подъемное усилие, кН;

i – общее передаточное число зубчатых передач лебедки и подвески ковша;

$\eta_{\text{об}}$ – общий КПД подъемного механизма;

$D_{\text{б}}$ – диаметр барабана подъемной лебедки, м.

$$S_{\text{п}max} = \frac{2 \cdot 113{,}3 \cdot 59{,}5 \cdot 0{,}84}{2{,}7} = 4194{,}3 \text{ кН}$$

$$i = 2 \cdot \frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_3} \qquad (3)$$

где z_i – число зубьев ведомой и ведущей шестерни.

Таблица 2. Классификация взорванных грунтов и пород
Table 2. Classification of blasted soils and rocks

Группа	Категория пород	Характерные породы	Плотность породы в целике γ, т/м^3
Легкие	I	Мягкие и рыхлые грунты, угли	1,4–1,8
	II	Очень плотные грунты, полускальные породы, крепкие и очень крепкие угли	1,5–2,0
	III	Прочные полускальные породы, грунты и породы при промерзании на глубину 1-2 м. Скальные породы средней трещиноватости	1,7–2,2
Средние	IV	Очень прочные полускальные породы, скальные породы малотрещиноватые	1,8–2,2
	V	Скальные породы малотрещиноватые, тяжелые руды	2,1–2,3
Тяжелые	V	-	2,1–2,3
	VI	Монолитные скальные породы, тяжелые руды малотрещиноватые	2,3–2,5

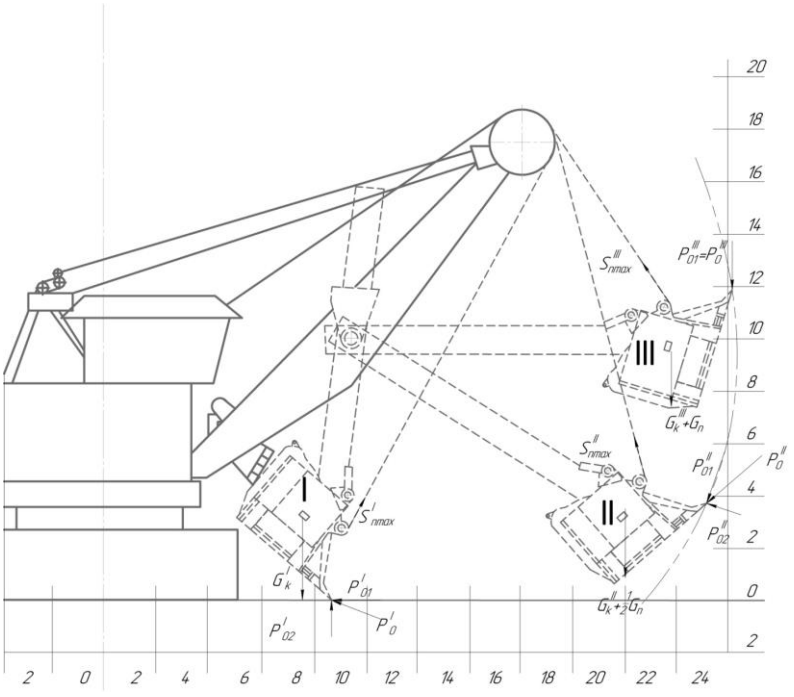

Рис. 2. Расчет усилий на рабочем оборудовании экскаватора P&H 2800 XPC
Fig. 2. Calculation forces on the working equipment of the P&H 2800 XPC excavator

$$i = 2 \cdot \frac{85 \cdot 98}{14 \cdot 20} = 59{,}5$$

$$\eta_{об} = \eta_{бл} \cdot \eta_{бс}^{n_1} \cdot \eta_{п} \cdot \eta_{зп}^{n} \quad (4)$$

где $\eta_{бл}$ – КПД барабана лебедки ($\eta_{бл} \approx 0{,}98$);
$\eta_{бс}$ – КПД блоков стрелы ($\eta_{бл} \approx 0{,}97$);
n_1 – число блоков стрелы ($n_1 = 2$);
$\eta_{п}$ – КПД полиспаста подъема ковша;
$\eta_{зп}$ – КПД зубчатой пары ($\eta_{зп} = 0{,}97$);
n – число ступеней в редукторе ($n = 2$).

$$\eta_{об} = 0{,}98 \cdot 0{,}97^2 \cdot 0{,}985 \cdot 0{,}97^2 = 0{,}84$$

$$\eta_{п} = \frac{1-\eta^{i_п}}{i_п \cdot (1-\eta)} \quad (5)$$

Таблица 3. Усилия, возникающие в оси ковша карьерного экскаватора P&H 2800 XPC
Table 3. Bucket axis forces on the P&H 2800 XPC mining excavator

Параметры	Для легких пород (I, II, III категории)	Для средних пород (IV и V категории)	Для тяжелых пород (V и VI категории)
Положение I (начало копания, ковш пустой)			
G_k', кН	366,0	622,2	768,6
G_k, кН	457,5	777,8	960,8
$G_{под}$, кН	91,5	155,6	192,2
P_{01}, кН	630,8	805,5	1368,6
P_{02}, кН	126,2	161,1	273,7
P_0, кН	643,3	821,5	1395,7
$S_н$, кН	3731,2	3436,8	3305
Положение II (рукоять наклонена под углом 45°, ковш заполнен наполовину)			
G_{k+n}, кН	768,7	1136,8	1334,2
P_{01}, кН	178,2	106,1	67,4
P_{02}, кН	35,6	21,2	13,4
P_0, кН	181,8	108,2	68,7
$S_н$, кН	3388,8	3073,3	2902,4
Положение III (ковш с грунтом на наибольшем вылете, ковш заполнен полностью)			
G_k, кН	457,5	777,8	924,2
G_n,кН	622,3	718,1	749,8
$P_{01} = P_0$, кН	208,4	164,4	145,9
$S_н$, кН	3395,2	2966,4	2950

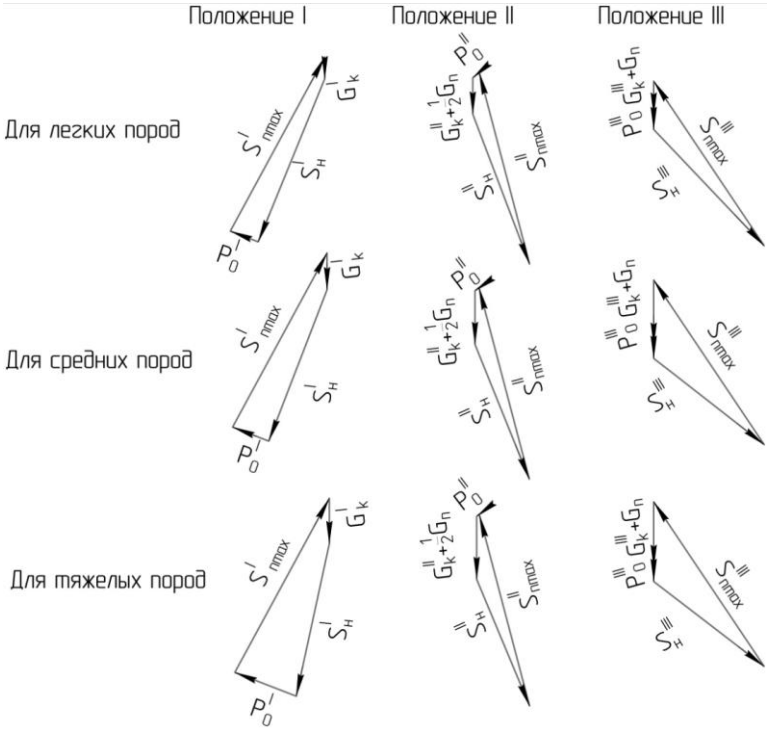

Рис. 3. Определение усилий напора
Fig. 3. Determination of pressure forces

где η – КПД подвижного блока подвески ковша ($\eta = 0{,}97$);

$i_{\text{п}}$ – кратность полиспаста подвески ковша ($i_{\text{п}} = 2$).

$$\eta_{\text{п}} = \frac{1 - 0{,}97^2}{2 \cdot (1 - 0{,}97)} = 0{,}985$$

$$D_{\text{б}} = \frac{(28-30) \cdot d_{\text{к}}}{1000}, \text{м} \quad (6)$$

где $d_{\text{к}}$ – диаметр подъемного каната ($d_{\text{к}} = 90$ мм).

$$D_{\text{б}} = \frac{30 \cdot 90}{1000} = 2{,}7 \text{ м}$$

Выполнены расчеты определения возможных усилий копания и напора, возникающие при начале копания **(положение I)**, когда ковш пустой и зуб ковша находится на вертикали (для легких пород).

Из условия равновесия относительно оси детали ковша получим:

$$P_{01}^{I} = \frac{S_{\text{п}max} \cdot R_n^I + G_{\text{к}} \cdot R_{\text{к}}^I}{R_0^I}, \text{кН} \quad (7)$$

где P_{01}^{i} – горизонтальная составляющая грунта, кН;

R_m^i – плечи сил относительно оси детали ковша, м (Рис. 2);

$G_{\text{к}}$ – вес порожнего ковша с подвеской, кН.

Плечи сил по чертежу будут равны: $R_n^I = 0{,}1$ м; $R_{\text{к}}^I = 0{,}6$ м; $R_0^I = 1{,}1$ м.

Вес порожнего ковша с подвеской:

$$G_{\text{к}} = G_{\text{под}} + G'_{\text{к}}, \text{кН} \quad (8)$$

где $G_{\text{под}}$ – вес подвески, кН;

$G'_{\text{к}}$ – вес порожнего ковша, кН.

$$G_{\text{к}} = 91{,}5 + 366 = 457{,}5 \text{ кН}$$

Вес подвески:

$$G_{\text{под}} = (0{,}24 - 0{,}27) \cdot G'_{\text{к}}, \text{кН} \quad (9)$$

$$G_{\text{под}} = 0{,}25 \cdot 366 = 91{,}5 \text{ кН}$$

Вес порожнего ковша:

$$G'_{\text{к}} = (7 - 12) \cdot E, \text{кН (для легких пород)} \quad (10)$$

$G'_{\text{к}} = (13 - 17) \cdot E$, кН (для средних пород)

$G'_{\text{к}} = (18 - 21) \cdot E$, кН (для тяжелых пород)

$$G'_{\text{к}} = 10 \cdot 36{,}6 = 366 \text{ кН}$$

Тогда горизонтальная составляющая грунта будет равна:

$$P_{01}^{I} = \frac{4194{,}3 \cdot 0{,}1 + 457{,}5 \cdot 0{,}6}{1{,}1} = 630{,}8 \text{ кН}$$

Вертикальная составляющая реакции грунта:

$$P_{02}^{I} = 0{,}2 \cdot P_{01}^{I}, \text{кН} \quad (11)$$

где P_{02}^{i} – вертикальная составляющая реакции грунта, кН.

$$P_{02}^{I} = 0{,}2 \cdot 630{,}8 = 126{,}2 \text{ кН}$$

Результирующая сила определяется по теореме Пифагора и строится в многоугольнике сил:

$$P_0^I = \sqrt{{P_{02}^I}^2 + {P_{01}^I}^2}, \text{кН} \quad (12)$$

где P_0^i – результирующая сила, кН.

$$P_0^I = \sqrt{630{,}8^2 + 126{,}2^2} = 643{,}3 \text{ кН}$$

Усилие напора определяется графически из многоугольника сил (Рис. 3). Усилие напора: $S_{\text{н}}^I = 3731{,}2$ кН.

Положение II. Рукоять наклонена под углом 45°. Ковш заполнен наполовину.

$$P_{01}^{II} = \frac{S_{\text{п}max} \cdot R_n^{II} - G_{\text{к+п}} \cdot R_{\text{к}}^{II}}{R_0^{II}}, \text{кН} \quad (13)$$

$$P_{01}^{II} = \frac{4194{,}3 \cdot 0{,}08 - 768{,}7 \cdot 0{,}2}{1{,}02} = 178{,}2 \text{ кН}$$

Плечи сил по чертежу будут равны: $R_n^{II} = 0{,}08$ м; $R_{\text{к}}^{II} = 0{,}2$ м; $R_0^{II} = 1{,}02$ м.

$$G_{\text{к+п}} = G_{\text{к}} + 0{,}5 \cdot G_{\text{п}}, \text{кН} \quad (14)$$

где $G_{\text{п}}$ – вес породы в ковше при полном его заполнении, кН. Определяется по формуле:

$$G_{\text{п}} = \frac{E \cdot g \cdot \gamma \cdot K_{\text{н}}}{K_{\text{р}}}, \text{кН} \quad (15)$$

$$G_{\text{п}} = \frac{36{,}6 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}6 \cdot 1}{1{,}5} = 622{,}3 \text{ кН}$$

$$G_{\text{к+п}} = 457{,}5 + 0{,}5 \cdot 622{,}3 = 768{,}7 \text{ кН}$$

Таблица 4. Усилия, возникающие в оси ковша карьерного экскаватора ЭКГ-35
Table 4. Forces arising in the bucket axis of the EKG-35 quarry excavator

Параметры	Для легких пород (I, II, III категории)	Для средних пород (IV и V категории)	Для тяжелых пород (V и VI категории)
Положение I (начало копания, ковш пустой)			
G_k', кН	350	595,0	735
G_k, кН	437,5	743,8	918,8
$G_{под}$, кН	87,5	148,8	183,8
P_{01}, кН	619,9	787,0	1325,4
P_{02}, кН	123,9	157,4	265,1
P_0, кН	632,2	802,6	1351,7
$S_н$, кН	3729,0	3450,0	3339,0
Положение II (рукоять наклонена под углом 45°, ковш заполнен наполовину)			
$G_{k+п}$, кН	735,1	1087,1	1275,8
P_{01}, кН	184,8	115,8	78,8
P_{02}, кН	37,0	23,1	15,8
P_0, кН	188,5	118,1	80,4
$S_н$, кН	3390,2	3123,4	2958,2
Положение III (ковш с грунтом на наибольшем вылете, ковш заполнен полностью)			
G_k, кН	437,5	743,8	883,8
$G_{п,кН}$	595,1	686,7	714,2
$P_{01} = P_0$, кН	213,4	171,3	153,6
$S_н$, кН	3235,8	3000,2	2907

Вес породы в ковше при полном его заполнении:

$$P_{01}^{II} = \frac{4194{,}3 \cdot 0{,}08 - 768{,}7 \cdot 0{,}2}{1{,}02} = 178{,}2 \text{ кН}$$

Вертикальная составляющая реакции грунта:

$$P_{02}^{II} = 0{,}2 \cdot P_{01}^{II}, \text{кН} \quad (16)$$

$$P_{02}^{II} = 0{,}2 \cdot 178{,}2 = 35{,}6 \text{ кН}$$

Результирующая сила:

$$P_0^{II} = \sqrt{{P_{02}^{II}}^2 + {P_{01}^{II}}^2}, \text{кН} \quad (17)$$

$$P_0^{II} = \sqrt{35{,}6^2 + 178{,}2^2} = 181{,}8 \text{ кН}$$

Усилие напора: $S_{\text{н}}^{II} = 3388{,}8$ кН

Положение III. Ковш с грунтом на наибольшем вылете. Ковш заполнен полностью. Приняв $P_{02}^{III} = 0$ из уравнения моментов сил, имеем:

$$P_{01}^{III} = \frac{S_{\text{п}max} \cdot R_{\text{п}}^{III} - (G_{\text{к}} + G_{\text{п}}) \cdot R_{\text{к}}^{III}}{R_{\text{о}}^{III}}, \text{кН} \quad (18)$$

Плечи сил по чертежу будут равны: $R_{\text{п}}^{III} = 0{,}08$ м; $R_{\text{к}}^{III} = 0{,}11$ м; $R_{\text{о}}^{III} = 1{,}04$ м.

$$P_{01}^{III} = \frac{4194{,}3 \cdot 0{,}08 - (457{,}5 + 622{,}3) \cdot 0{,}11}{1{,}04} = 208{,}4 \text{ кН}$$

Результирующая сила:

$$P_0^{III} = P_{01}^{III}, \text{кН} \quad (19)$$

$$P_0^{III} = 208{,}4 \text{ кН}$$

Усилие напора: $S_{\text{н}}^{III} = 3395{,}2$ кН

Аналогичный расчет выполнен для средних и тяжелых пород, сводные данные приведены в Таблице 3, на Рис. 3.

Аналогичные расчеты выполнены для карьерного экскаватора ЭКГ-35, данные приведены в Таблице 4.

Выводы.

Получены сопоставимые результаты расчетов усилий для карьерных экскаваторов ЭКГ-35 со значениями для карьерного экскаватора P&H 2800XPC, что свидетельствует об идентичных нагрузках, приходящихся на ось ковша для карьерного экскаватора ЭКГ-35 и P&H 2800XPC. В связи с этим разные сроки эксплуатации осей рабочего оборудования карьерных экскаваторов отечественного и зарубежного производства можно объяснить возможным различием эксплуатационных свойств материалов, из которых изготовлены данные детали. Для подтверждения данного предположения необходимо провести комплекс испытаний материалов осей рабочего оборудования карьерных экскаваторов отечественного и зарубежного производства для проектирования последовательности выполнения ремонтных операций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tyulenev M., Markov S., Zhironkin S., Gasanov M., Cehlár M. The choice of technology and equipment for coal seams of different bedding excava cion at Kusbass surface mines based on digging capaci ty and unit costs // Acta Montanistica Slovaca. 2021. Т. 26. № 4. С. 603–619.

2. Sokolski M. (Ed.). Mining machines and earth-moving equipment: problems of design, research and maintenance. Springer International Publishing. 2020. 226 p. DOI: 10.1007/9783-030-25478-0.

3. Tsymbalyuk T. A., Cheskidov V. I. Selection procedure of draglines for strippingoperations in sur face mining // Journal of Mining Science. 2020. Т. 56. № 4. С. 557–566.

4. Rusiński E., Czmochowski J., Moczko P., Pie trusiak D. Surface mining machines: problems of maintenance and modernization // Springer Interna tional Publishing AG. 2017. 169 p. DOI: 10.1007/978 3-319-47792-3.

5. Cheskidov V. I., Norri V. K. Stripping with direct dumping in Kusbass open pit mines: the current state and prospects // Journal of Mining Science. 2016. Т. 52. № 4. С. 725–731.

6. Князьков В. Л., Петрова Е. Е., Мелкозерных Н. В. Механические свойства и химический состав, слоистой структуры детали «ось» соединения подъемной проушины ковша и коромысла экскаватора P&H 2800 XPC // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 1. С. 141–144.

7. Knjaz'kov V. L., Petrova E. E., Pimonov M. V., Melkozernyh N. V. Research nature of damage parts machines for the purpose of optimization technology recovery // International scientific-practical conference: innovations in fuel and energy complex and mechanical engineering (FEC-2017). Kemerovo, 2017. Art. 012027.

8. Smirnov A. N., Knjaz'kov V. L., Levashova E. E., Ababkov N. V., Pimonov M. V. Mechanical and acoustic characteristics of the weld and the base metal machine part of career transport // Allrussian research-to-practice conference on ecology and safety in the technosphere: current problems and solutions. Yurga, 2017. Art. 012052.

9. Ababkov N. V., Smirnov A. N., Pimonov M. V., Levashova E. E. Metal control of operated and damaged situated parts and welded wire connections // Materials science forum. Trans Tech Publications Ltd. 2018. № 938. Pp. 7–11.

10. Левашова Е. Е., Пимонов М. В., Абабков Н. В. Расчет ресурса детали «ось» после восстановления // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 6. С. 3–9.

11. Гвоздкова Т. Н., Тюленев М. А., Хорешок А. А. Технология добычи полезных ископае¬мых открытым способом: учеб. пособие. Кемерово : КузГТУ, 2008. 62 с.

12. Репин Н. Я., Репин Л. Н. Выемочно-погрузочные работы : учеб. посо¬бие. Москва : Издательство «Горная книга», 2010. 267 с.

13. Протасов С. И., Воронков В. Ф. Процессы открытых горных работ. Прак¬тикум : учеб. пособие. Кемерово : ГУ КузГТУ, 2012. 123 с.

14. Щадов М. И. [и др.] Справочник механика открытых работ. Экскавационно-транспортные машины циклического действия. Под ред. Щадова М. И., Подэрни Р. Ю. М. : Недра, 1987. 524 с.

15. Симкин Б. А., Кутузов Б. Н., Буткин В. Д. Справочник по бурению на карьерах. М. : Недра, 1990. 224 с.

16. Беляков Ю. И. Экскаваторные работы: Справочник рабо¬чего. М. : Недра, 1992. 288 с.: ил.

17. Трубецкой К. Н. [и др.] Справочник. Открытые горные работы. М. : Горное бюро, 1994. 590 с.: ил.

18. Подэрни Р. Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ : учеб. пособие для горных специальностей вузов: в 2 т. : Т. 1. М. : Издательство МГГУ , 2001. - 422 с.

19. Подэрни Р. Ю. Механическое оборудование карьеров: учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГГУ, 2003. 606 с.: ил.

20. Висбек Р., Казаков В. А., Удачина Т. Е., Хаспеков П. Р. Об эффективности применения карьерных гидравлических экскаваторов // Горная промышленность. 1998. № 5. С. 12–14.

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Левашова Елена Евгеньевна, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения Института информационных технологий, машиностроения и автотранспорта, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, e-mail: pee5152@rambler.ru

Заявленный вклад авторов:

Левашова Елена Евгеньевна – научный менеджмент, концептуализация исследования и расчетов, выводы, расчеты, написание текста, обработка результатов, обзор литературы, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-113-120

Elena E. Levashova

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

***** for correspondence: pee5152@rambler.ru

CALCULATION OF THE FORCES ON THE AXLE OF THE EXCAVATOR WORKING EQUIPMENT

Article info
Received:
19 May 2026

Accepted for publication:
01 September 2026

Accepted:
15 September 2026

Keywords: *mining equipment, mining enterprise, quarry excavator, bucket working equipment axis, calculation of thrust force, calculation of digging force, rock category*

Abstract.
When operating in mining enterprises, quarry excavators are subject to heavy loads, including the axle of the working equipment. Currently, the service life of the P&H axle is 12 months, and for the EKG-36 - 6 months. To design the repair sequence and the necessary welding consumables, the forces occurring in the part during operation under different conditions were determined. This article presents the results of calculating the greatest possible applied pressure and digging forces coming to the axle of the working equipment of the P&H 2800 XPC and EKG-35 mining excavators. The calculations took into account operating conditions with varying degrees of rock heaviness (light, medium, heavy) and in three bucket positions (start of digging, bucket empty; handle tilted at an angle of 45°, bucket half full; bucket with soil at maximum reach, bucket completely full). The calculations took into account the characteristics of quarry excavators, such as bucket capacity, bucket weight, digging height, digging radius and other operating parameters. Comparable values were obtained for different quarry excavators, indicating the same operating conditions. It was found that the maximum force of 1395.7 kN is applied at bucket position I (start of digging, empty bucket) for heavy rocks (low-fractured hard rocks, heavy ores and monolithic low-fractured hard rocks, heavy ores). The maximum thrust force (3731.2 kN) corresponds to bucket position I for light rocks (soft and loose soils, coals; very dense soils, semi-hard rocks, hard and

very hard coals, strong semi-hard rocks, soils and rocks when frozen to a depth of 1-2 m; moderately fractured hard rocks).

For citation: Levashova E.E. Calculation of the forces on the axle of the excavator working equipment. Mining Equipment and Electromechanics, 2026; 4(186):113-120 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-113-120, EDN: BWQCVL

REFERENCES

1. Tyulenev M., Markov S., Zhironkin S., Gasa nov M., Cehlár M. The choice of tech-nology and equipment for coal seams of different bedding excava cion at Kusbass surface mines based on digging capaci ty and unit costs. *Acta Montanistica Slovaca.* 2021; 26(4):603-619.

2. Sokolski M. (Ed.). Mining machines and earth-moving equipment: problems of design, research and maintenance. Springer International Publishing. 2020. 226 p. DOI: 10.1007/9783-030-25478-0.

3. Tsymbalyuk T.A., Cheskidov V.I. Selection procedure of draglines for strippingoperations in sur face mining. *Journal of Mining Science.* 2020; 56(4):557-566.

4. Rusiński E., Czmochowski J., Moczko P., Pie trusiak D. Surface mining machines: problems of maintenance and modernization. *Springer Interna tional Publishing AG.* 2017. 169 p. DOI: 10.1007/978 3-319-47792-3.

5. Cheskidov V.I., Norri V.K. Stripping with direct dumping in Kusbass open pit mines: the current state and prospects. *Journal of Mining Science.* 2016; 52(4):725-731.

6. Knjaz'kov V.L., Petrova E.E., Melkozernyh N.V. Mehanicheskie svojstva i himicheskij sostav, sloistoj struktury detali «os'» soedinenija pod"emnoj proushiny kovsha i koromysla `ekskavatora P&H 2800 XPC. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta.* 2016; 1:141-144.

7. Knjaz'kov V.L., Petrova E.E., Pimonov M.V., Melkozernyh N.V. Research nature of damage parts machines for the purpose of optimization technology recovery. *International scientific-practical conference: innovations in fuel and energy complex and mechanical engineering (FEC-2017).* Kemerovo, 2017. Art. 012027.

8. Smirnov A.N., Knjaz'kov V.L., Levashova E.E., Ababkov N.V., Pimonov M.V. Mechanical and acoustic characteristics of the weld and the base metal machine part of career transport. *All-russian research-to-practice conference on ecology and safety in the technosphere: current problems and solutions.* Yurga, 2017. Art. 012052.

9. Ababkov N.V., Smirnov A.N., Pimonov M.V., Levashova E.E. Metal control of operated and damaged situated parts and welded wire connections. *Materials science forum. Trans Tech Publications Ltd.* 2018; 938:7-11.

10. Levashova E.E., Pimonov M.V., Ababkov N.V. Raschet resursa detali «os'» posle vosstanovlenija. *Gornoe oborudovanie i `elektromehanika.* 2020; 6:3-9.

11. Gvozdkova T.N., Tjulenev M.A., Horeshok A.A. Tehnologija dobychi poleznyh iskopaemyh otkrytym sposobom: ucheb. posobie. Kemerovo: KuzGTU; 2008. 62 s.

12. Repin N.Ja., Repin L.N. Vyemochno-pogruzochnye raboty : ucheb. posobie. Moskva: Izdatel'stvo «Gornaja kniga»; 2010. 267 s.

13. Protasov S.I., Voronkov V.F. Protsessy otkrytyh gornyh rabot. Praktikum : ucheb. Posobie. Kemerovo: KuzGTU; 2012. 123 s.

14. Schadov M.I. [i dr.] Spravochnik mehanika otkrytyh rabot. `Ekskavatsionno-transportnye mashiny tsiklicheskogo dejstvija. Pod red. Schadova M.I., Pod`erni R.Ju. M.: Nedra; 1987. 524 s.

15. Simkin B.A., Kutuzov B.N., Butkin V.D. Spravochnik po bureniju na kar'erah. M.: Nedra; 1990. 224 s.

16. Beljakov Ju.I. `Ekskavatornye raboty: Spravochnik rabochego. M.: Nedra; 1992. 288 s.: il.

17. Trubetskoj K.N. [i dr.] Spravochnik. Otkrytye gornye raboty. M.: Gornoe bjuro; 1994. 590 s.: il.

18. Pod`erni R Ju. Gornye mashiny i kompleksy dlja otkrytyh rabot : ucheb. posobie dlja gornyh spetsial'nostej vuzov: v 2 t. : T. 1. M.: Izdatel'stvo MGGU; 2001. 422 s.

19. Pod`erni R.Ju. Mehanicheskoe oborudovanie kar'erov: ucheb. dlja vuzov. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Izd-vo MGGU; 2003. 606 s.: il.

20. Visbek R., Kazakov V.A., Udachina T.E., Haspekov P.R. Ob `effektivnosti primenenija kar'ernyh gidravlicheskih `ekskavatorov. *Gornaja promyshlennost'.* 1998; 5:12-14.

© 2026 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:
Elena E. Levashova, graduate student, senior lecturer at the Department of mechanical engineering technology, Institute of Information Technology, Mechanical Engineering and Motor Vehicle, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya st., Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: pee5152@rambler.ru

Contribution of the authors:
Elena E. Levashova – scientific management, conceptualization of research and calculations, conclusions, calculations, writing the text, processing of the results, literature review, data collection and analysis.
Authors have read and approved the final manuscript.