

УДК 621.879.34

Доронин Сергей Владимирович, доцент, к.т.н.
(Красноярский филиал ФИЦ ИВТ, г. Красноярск)

Альшанская Анна Александровна, аспирант
(СФУ, г. Красноярск)

Sergey V. Doronin, associate professor, candidate of engineering science
(Krasnoyarsk Branch of FRC ICT, Krasnoyarsk)

Anna A. Alshanskaya, graduate student
(SFU, Krasnoyarsk)

**НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДВУНОГОЙ СТОЙКИ
КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ
НАГРУЖЕНИИ**

**STRESS STATE OF THE MINING EXCAVATOR BIPED RACK
UNDER DYNAMIC LOADING**

Аннотация: Рассматриваются результаты решения серии модельных задач для двуногой стойки, подверженной ударному импульсу в стреловых канатах в условиях нештатных ситуаций. Получены предварительные оценки влияния параметров демпфирования и ударного импульса на максимумы напряжений и деформаций.

Abstract: The paper considers the results of solving a series of model problems for a biped rack subjected to a shock impulse in boom ropes in emergency situations. Preliminary estimates of the influence of the parameters of damping and shock impulse on the maxima of stresses and strains are obtained.

Современные карьерные экскаваторы характеризуются значительными массами, но при этом скорости выполнения технологических операций не слишком велики: расчетная продолжительность цикла на грунтах IV категории при работе в отвал с поворотом на 90° и высоте забоя, равной высоте напорного вала, для различных моделей карьерных экскаваторов составляет: ЭКГ-4,6А, ЭКГ-5А – 23 с, ЭКГ-4у – 32 с, ЭКГ-5у – 30 с, ЭКГ-8И – 28 с, ЭКГ-8у – 35 с, ЭКГ-8ус – 28 с, ЭКГ-10 – 26 с, ЭКГ-12,5, ЭКГ-12,5ус – 32 с, ЭКГ-15 – 28 с, ЭКГ-18 – 27 с. Представляется, что при выполнении цикла в течение десятков секунд динамическое нагружение выражается только в увеличении инерционной составляющей нагрузки, в связи с чем правомерна традиционная квазистатическая интерпретация нагруженности, учитываемая коэффициентом динамичности. Относитель-

но последнего отсутствует единая общепринятая точка зрения. Однако, разброс значений обычно находится в интервале от 1,1 [1] до 2,5 [2].

Гораздо более сложен вопрос об оценке динамической нагруженности при возникновении нештатных (запрещенных правилами эксплуатации) ситуаций. Для карьерных экскаваторов к таковым относятся [3]:

- удары ковша по гусеницам;
- свободное падение ковша;
- удары днищем ковша о борт транспортного средства;
- удары рукоятью по стреле;
- удары обоймой блока ковша и рукоятью по блокам стрелы;
- удары упорами рукояти по упорам седлового подшипника.

Можно предположить, что каждая из этих ситуаций характеризуется собственным уникальным спектром нагрузок, который необходимо анализировать для оценки опасности и вклада в формирование отказов и аварий машин.

В первом приближении (при отсутствии более обоснованной информации) ударное нагружение обычно описывается синусоидальным импульсом вида

$$F(t) = F_{\max} \cdot \sin\left(\frac{t}{\tau}\right) \cdot \pi, \quad (1)$$

где F_{\max} – максимальное значение усилия в течение ударного импульса, τ – продолжительность ударного импульса. Если для выбора максимального значения импульса в первом приближении можно ориентироваться на указанные выше коэффициенты динамичности, то значения продолжительности ударного импульса для карьерных экскаваторов в нештатных ситуациях в литературе не встречаются.

В качестве аналогичных ситуаций в технике рассмотрим ударное нагружение подвижного состава железных дорог при столкновении. Систематические исследования в этой области [4-7] показывают, что при небольших скоростях столкновения (обычно до 20 км/ч) время действия ударной силы составляет в среднем 0,06 с.

В качестве объекта анализа рассматривается упрощенная модель двуногой стойки карьерного экскаватора (рис. 1, а). Комплекс нагрузок включает в себя (рис. 1, б) воздействие гравитации G , усилия со стороны подкосов P_1 и P_2 , усилия со стороны стреловых канатов P_3 и P_4 . В настоящей работе рассматриваются результаты решения серии модельных задач, позволяющие оценить характер влияния параметров ударного импульса в стреловых канатах на динамическое поведение двуногой стойки.

Решение задач осуществляется в два этапа.

I. Численное решение уравнений движения вида

$$[M] \cdot \ddot{\{u(t)\}} + [C] \cdot \dot{\{u(t)\}} + [K] \cdot \{u(t)\} = \{F(t)\}, \quad (2)$$

где $[M]$, $[C]$, $[K]$ – соответственно матрицы масс, демпфирования и жесткости конечно-элементной модели; $\ddot{\{u(t)\}}$, $\dot{\{u(t)\}}$, $\{u(t)\}$ – соответственно векторы узловых ускорений, скоростей и перемещений, $\{F(t)\}$ – вектор узловых сил в функции времени;

II. Анализ возникающих при действии ударного импульса переходных процессов, выраженных в перемещениях и напряжениях отдельных элементов конструкций.

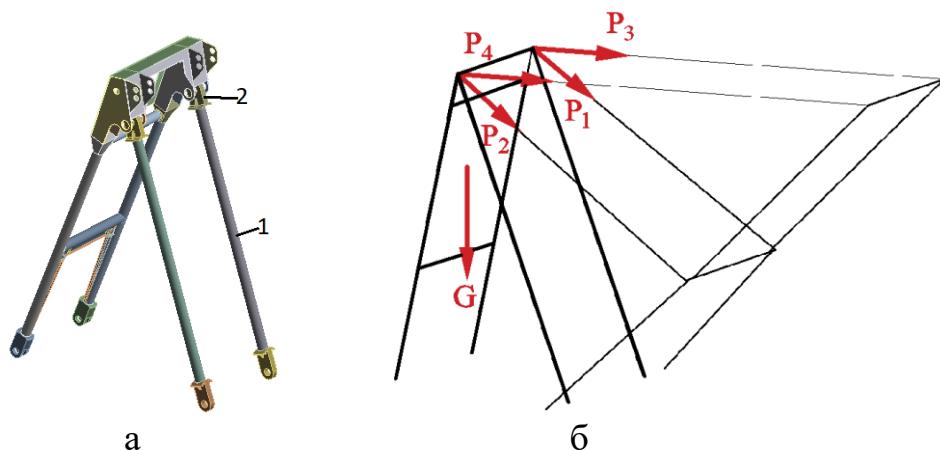


Рис. 1. Геометрическая модель (а) и схема нагружения (б) двуногой стойки: 1 – труба; 2 – отливка

Характеристики демпфирования описывались Рэлеевской моделью

$$[C] = \alpha \cdot [M] + \beta \cdot [K], \quad (3)$$

где параметры α и β определяются как

$$\alpha = 4\pi \cdot \xi \cdot \frac{f_{\min} \cdot f_{\max}}{f_{\min} + f_{\max}}; \quad \beta = \frac{\xi}{\pi(f_{\min} + f_{\max})}, \quad (4; 5)$$

где ξ – коэффициент затухания; f_{\min} , f_{\max} – минимальное и максимальное значения рассматриваемого интервала собственных частот свободных колебаний.

Величина коэффициента затухания может быть определена через логарифмический декремент колебаний δ как

$$\xi = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}}, \quad (6)$$

По результатам модального анализа принят интервал частот, ограниченный величинами $f_{\min} = 4,4$ Гц, $f_{\max} = 17,0$ Гц. В условиях неопределенности логарифмического декремента для рассматриваемой конструкции двуногой стойки примем его значения в интервале значений, характерных для аналогичных конструкций: $\delta = 0,05 \dots 0,15$. Тогда соответствующие характеристики демпфирования составляют $\xi = 0,008$, $\alpha = 0,35$, $\beta = 1,19 \cdot 10^{-4}$ (для $\delta = 0,05$), $\xi = 0,024$, $\alpha = 1,05$, $\beta = 3,57 \cdot 10^{-4}$ (для $\delta = 0,15$).

Для анализа сформулированы один статический и пять динамических расчетных случая нагружения (табл. 1). Для динамического нагружения в таблице приведены параметры ударного импульса (1).

Табл. 1. Характеристики расчетных случаев нагружения модельной задачи

Расчетный случай	P_1 , Н	P_2 , Н	P_3 , Н	P_4 , Н	δ
1	69 039		620 260		-
2			$F_{\max} = 2 \cdot 620 260$, $\tau = 0,06$ с		0,05
3			$F_{\max} = 2 \cdot 620 260$, $\tau = 0,06$ с		0,15
4			$F_{\max} = 2 \cdot 620 260$, $\tau = 0,12$ с		0,15
5			$F_{\max} = 2 \cdot 620 260$, $\tau = 0,06$ с	$F_{\max} = 3 \cdot 620 260$, $\tau = 0,06$ с	0,15
6			$F_{\max} = 3 \cdot 620 260$, $\tau = 0,06$ с		0,15

Таким образом, расчетный случай 1 – статический, случаи 2-6 – динамические. В расчетных случаях 2-4 рассматривается двукратный, а в расчетном случае 6 – трехкратный рост усилия в стреловых канатах. В расчетном случае 5 рассматривается различный по величине ударный импульс: в одном стреловом канате двухкратный, а во втором – трехкратный рост усилия. В расчетных случаях 2, 3, 5, 6 продолжительность ударного импульса 0,06 с, в случае 4 продолжительность удвоена и составляет 0,12 с. Это позволяет получить ориентировочные оценки влияния основных факторов на характер напряженно-деформированного состояния.

В качестве результирующих характеристик в рассматриваемой модельной задачи приняты максимальные значения поступательных перемещений (абсолютных деформаций) и эквивалентных напряжений в двух конструктивных элементах: трубе 1 и отливке 2 (рис. 1, а) в течение 0,2 с после начала действия ударного импульса.

Сводная таблица результатов (табл. 2) позволяет сделать следующие выводы. При одинаковых максимумах нагрузок (статическая нагрузка, умноженная на коэффициент динамичности с одной стороны, максимальное значение усилия в течение ударного импульса, с другой) решение задач в динамической постановке дает более высокие значения деформаций и напряжений по сравнению со статическими решениями с учетом коэффициента динамичности.

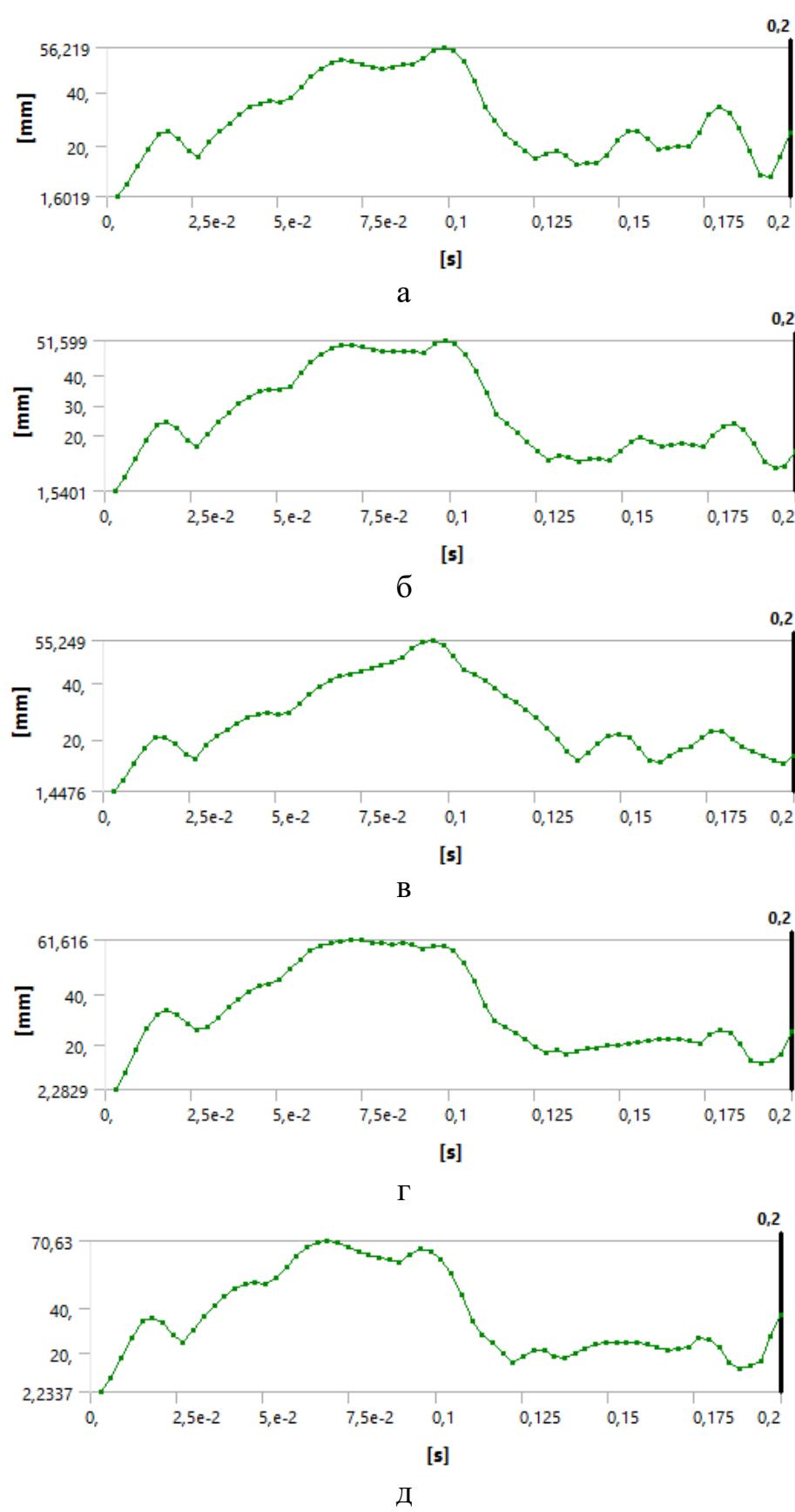


Рис. 2. Максимальные поступательные перемещения двуногой стойки: а – расчетный случай 2, б – расчетный случай 3, в – расчетный случай 4, г – расчетный случай 5, д – расчетный случай 6

Табл. 2. Сводная таблица результатов

Расчетный случай	Максимальные перемещения, мм	Напряжения в трубе, МПа	Напряжения в отливке, МПа
1	16	87	50
2	56	213	115
3	52	208	109
4	55	217	113
5	62	223	125
6	71	363	160

Увеличение логарифмического декремента колебаний приводит к снижению максимумов напряжений и деформаций, но не к такому значительному, как ожидалось.

Увеличение продолжительности ударного импульса приводит к незначительному росту напряжений и деформаций, но влияние этого фактора не является существенным.

Наиболее значимым фактором является, максимальное значение усилия в течение ударного импульса. Наиболее перспективными, по-видимому, являются исследования, направленные на оценку величины этого фактора в различных нештатных ситуациях.

Список литературы

1. Великанов В.С. Повышение эффективности эксплуатации карьерных гусеничных экскаваторов с оборудованием «прямая механическая лопата». Автореферат дис. ... к.т.н. Екатеринбург, 2009. 20 с.
2. Порцевский А.К., Анистратов Ю.И. Открытые горны работы. М.: МГГА, 1999. 74 с.
3. Экскаватор ЭКГ-5А. Механическая часть. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1987.
4. Оганьян Э.С. Напряженно-деформированное состояние конструкций экипажной части тепловозов при соударениях и аварийных столкновениях // Труды всероссийского научно-исследовательского института тепловозов и путевых машин. Вып. 79. Коломна, 1999. С. 76-81.
5. Оганьян Э.С. Особенности нагружения конструкций локомотивов при соударениях // ЦНИИТЭИ МПС. 1999. № 7. С. 52.
6. Иванов А.В. Исследование по выбору рациональных параметров конструкции вагонов электропоезда при восприятии аварийных ударных нагрузок // Труды ВНИИ вагоностроения. Вып. 11. М., 1970. С. 43-61.
7. Иванов А.В. К вопросу защиты кузовов железнодорожных экипажей от разрушения при действии аварийных продольных нагрузок // Межвуз. сб. науч. тр. Днепровского национального университета железнодорожного транспорта. Вып. 195/24. Днепропетровск, 1978. С. 21-24.