

Выбор оптимального варианта рукояти экскаватора с позиции теории принятия решений

Т.Н. Роговенко, М.М. Зайцева, Ф.С. Копылов, В.С. Крымский

Донской государственный технический университет

Аннотация: Представлена модель выбора оптимального варианта рукояти экскаватора, сочетающая в себе классические методы принятия решения и статистическое моделирование параметров несущей способности и нагруженности.

Ключевые слова: принятие решений, надежность ресурс, моделирование, одноковшовый экскаватор, рукоять, оптимизация.

Постановка задачи

С позиции теории принятия решений задача выбора оптимального варианта конструкции рукояти экскаватора является многокритериальной и принимаемой в условиях риска [1]. В данной работе осуществлена попытка найти оптимальный вариант, исходя из одного критерия – заданного минимального ресурса рукояти T_3 , учитывая, что параметры несущей способности σ_{10} и нагруженности $\sigma_{св}$ носят вероятностный характер и могут быть заданы соответствующими распределениями.

Множество альтернатив складывается из нескольких вариантов конструкций рукояти, для трех марок сталей (15ХСНД, 09Г2С, сталь 20), трех значений толщины стенки (12, 10 и 8 мм) и двух вариантов увеличения площади опасного сечения. Такой подход дал $n=18$ вариантов рукояти.

Элементы матрицы решений $\|e_{ij}\|$ определяются как разница между ресурсом T_i , полученным для генеральной совокупности в результате применения FISP-метода [2], и заданным ресурсом T_3 :

$$e_{ij} = T_i(G_j) - T_3,$$

где G_j - тип грунта ($j=1, \dots, 4$), i – номер альтернативы ($i=1, \dots, n$).

В предположении, что тип грунта как внешнее условие эксплуатации экскаватора оказывает решающее значение на напряжения, возникающие в

опасном сечении, ресурс может быть определен по формуле Веллера-Серенсена-Когаева [3-5]:

$$T_i(G_j) = \frac{N_0 \cdot a_p}{3600 \cdot f} \left(\frac{\sigma_{-1\partial i}}{\sigma_{св j}} \right)^m,$$

где $\sigma_{-1\partial i}$ - предел выносливости детали, $\sigma_{св j}$ - средневзвешенные напряжения, соответствующих разным типам грунта G_j , N_0 - базового числа циклов, f - частоты нагружения, m - показатель кривой Веллера, a_p - поправочного коэффициента для несимметричных циклов нагружения. Для каждой альтернативы предел выносливости и средневзвешенные напряжения заданы распределениями Вейбулла:

$$F(\sigma) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{\sigma_{-1\partial} - c}{a}\right)^b\right)$$

и Фишера-Типпета

$$F(\sigma) = \exp\left(-\left(\frac{c - \sigma_{св}}{a}\right)^b\right)$$

где a, b, c – параметры масштаба, формы и сдвига соответственно [2,6].

В таблице 1 представлены значения средневзвешенных напряжений в опасном сечении, соответствующие разным типам грунтов [7] и полученные FISP-методом.

Таблица № 1

Средневзвешенные напряжения для разных типов грунтов

№ варианта рукояти	Тип грунта			
	Легкий	Средний	Тяжелый	Сверхтяжелый
	$\sigma_{св1}$	$\sigma_{св2}$	$\sigma_{св3}$	$\sigma_{св4}$
1	89,7	103,7	108,2	121,5

2	90,4	104,4	103,5	110,1
3	68,8	79,3	82,8	83,7
4	96,1	103,6	108,2	112,5
5	67,8	78,4	81	91,7
6	68,8	71,5	74,5	83,7
7	96,1	96,3	100,4	112,8
8	90,4	104,4	109	110,1
9	68,8	79,3	82,8	83,7
10	76,2	76,2	91,8	103,2
11	72,6	83,8	87,4	88,3
12	74,5	85,9	89,5	96,9
13	76,3	88,2	91,8	103,1
14	72,6	83,8	87,4	88,3
15	74,5	85,9	89,5	96,9
16	76,2	82,1	85,6	92,8
17	72,6	83,8	87,4	88,3
18	74,5	75,6	78,76	88,8

В таблице 2 представлены значения ресурса рукояти, соответствующие разным типам грунтов и полученные FISP-методом, с указанием вероятности q_j появления внешнего условия G_j .

Таблица № 2

Значения ресурса рукояти экскаватора

№ варианта рукояти	Тип грунта			
	Легкий	Средний	Тяжелый	Сверхтяжелый
q_j	0,25	0,35	0,25	0,15
1	429	168	127	60

2	565	142	155	86
3	25004	4021	2350	2028
4	234	145	111	86
5	4789	1273	953	308
6	10943	6808	4155	1007
7	325	321	242	112
8	686	168	111	101
9	25964	4158	2428	2094
10	4762	4715	879	304
11	16165	2705	1611	1410
12	28135	3187	1710	506
13	1935	580	417	157
14	8033	1455	887	781
15	32350	3608	1927	566
16	3463	1784	1231	605
17	26868	4252	2490	2171
18	28988	23092	12387	1961

Для поиска оптимального варианта использованы следующие критерии [1, 8-10]:

1. Минимаксный $Z_{MM} = \max_i \min_j e_{ij}$.

2. Байеса-Лапласа $Z_{BL} = \max_i \sum_{j=1}^n q_j e_{ij}$, где q_j – вероятность появления

внешнего условия G_j .

3. Гурвица $Z_H = \max_i \left(c \min_j e_{ij} + (1-c) \max_j e_{ij} \right)$, где c – весовой множитель,

$0 \leq c \leq 1$.

4. Ходжа-Лемана $Z_{HL} = \max_i \left(\nu \sum_{j=1}^n q_j e_{ij} + (1-\nu) \min_j e_{ij} \right)$, где ν – весовой множитель, $0 \leq \nu \leq 1$.

Результаты поиска оптимального варианта рукояти по нескольким критериям представлены в таблице 3.

Таблица № 3

Результаты применения критериев

№ п/п	Критерий	Весовой коэффициент критерия	Оптимальный вариант
1	Z_{MM}	-	17
2	Z_{BL}	-	17
3	Z_H	$c \geq 0,91$	17
4	Z_H	$0,706 < c < 0,91$	18
5	Z_H	$c < 0,706$	15
6	Z_{HL}	$\nu \leq 0,021$	17
7	Z_{HL}	$\nu > 0,021$	18

Таким образом, применение нескольких критериев выбора оптимального варианта в сочетании со статистическим моделированием позволило принять обоснованное техническое решение о том, что наилучшей является рукоять, изготовленная из стали 15ХСНД с толщиной стенки 10 мм и увеличенным на 20% опасным сечением.

Литература

1. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений//Москва: Мир, 1990. С. 35-40.
2. Rogovenko T.N., Zaitseva M.M. Small-sample evaluation of dipper stick service life//Engineering Studies. 2017. Issue 3 (2). vol. 9. pp. 522-529.
3. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность.// М.: Машиностроение, 1975. С. 52-60.

4. Когаев В.П., Петрова И.М. Расчет функции распределения ресурса деталей машин методом статистических испытаний // Вестник машиностроения. 1981. №1. С. 9 – 11.

5. Роговенко Т.Н., Зайцева М.М. Оценка оптимального значения вероятности безотказной работы деталей машин, на примере рукояти одноковшового экскаватора// Инженерный вестник Дона. 2016. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3848.

6. The Weibull Distribution: A Handbook Horst Rinne// Chapman and Hall/CRC Reference. 2008. pp. 215-220.

7. Вернези Н.Л. Метод оценки прочности металла неразрушающим способом с использованием априорной информации// Инженерный вестник Дона. 2013. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1898.

8. А.С. Антонова, К.А. Аксенов. Многокритериальное принятие решений в условиях риска на основе интеграции мультиагентного, имитационного, эволюционного моделирования и численных методов// Инженерный вестник Дона. 2012. №4 часть 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466.

9. Makhutov N.A. A criterion base for assessment of strength, lifetime, reliability, survivability, and security of machines and man-machine systems// Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2013 V. 42. № 5. pp. 364-373.

10. Стародубцева С.А., Гусев А.С. Прогнозирование остаточного ресурса конструкций и деталей машин // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2012. Т. 1. № 2 (14). С. 355-360.

References

1. Mushik Je., Mjuller P. Metody prinjatija tehnicheskikh reshenij [Methods of making technical decisions]. M.: Mir, 1990. pp. 35-40.

2. Rogovenko T.N., Zaitseva M.M. Engineering Studies. 2017. Issue 3 (2). vol. 9. pp. 522-529.



3. Serensen S.V., Kogaev V.P., Shnejderovich R.M. Nesushhaja sposobnost' i raschet detalej mashin na prochnost'. [Carrying capacity and calculation of machine parts for durability]. M.: Mashinostroenie, 1975. pp. 52-60.
4. Kogaev V.P., Petrova I.M. Russian Engineering Research. 1981. №1. pp.9–11.
5. Rogovenko T.N., Zaitseva M.M. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2016. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3848.
6. Chapman and Hall/CRC Reference. 2008. pp. 215-220.
7. Vernrzi N.L. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. № 3 (26). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1898.
8. Antonova A.S., Aksenov K.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2012. №4, p. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466.
9. Makhutov N.A. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2013 V. 42. № 5. pp. 364-373.
10. Starodubceva S.A., Gusev A.S. Izvestija Moskovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta MAMI. 2012. V. 1. № 2 (14). pp. 355-360.