

*Секция: Технические науки*

**Лапкина Инна Александровна**

*доктор экономических наук, проф., заведующая кафедрой  
управления логистическими системами и проектами*

*Одесский национальный морской университет*

*г. Одесса, Украина*

**Малаксиано Николай Александрович**

*кандидат физико-математических наук,*

*доцент кафедры управления логистическими системами и проектами*

*Одесский национальный морской университет*

*г. Одесса, Украина*

## **ОБОСНОВАНИЕ СРОКОВ ЗАМЕНЫ СТАРОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОБОРУДОВАНИЕ НОВОГО ТИПА С УЧЕТОМ ФАКТОРА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Физический износ оборудования может быть вызван стиранием деталей, усталостью и окислением материалов, а также другими причинами. Увеличение физического износа проявляется в возрастании количества поломок и росте уровня операционных расходов на оборудование. Вместе с тем, зачастую целесообразность замены оборудования связана и с моральным износом, который обусловлен появлением на рынке более эффективных или более дешевых аналогов данного оборудования. Во многих случаях целесообразность обновления оборудования определяется не каким-то одним фактором, а совокупным влиянием физического и морального износа, а также уровнем устойчивости показателей эффективности эксплуатации оборудования. В работах [1; 2] исследованы вопросы устойчивого функционирования транспортных систем в условиях неравномерного грузопотока и обоснование выбора оптимальной

структуры парка оборудования. Вопросы определения оптимальных сроков ремонтов сложного портового оборудования изучены в [3; 4]. В [5] исследовались вопросы определения оптимальных сроков службы оборудования с учетом возможности его реставрации. В работах [6–9] исследовались оптимальные сроки замены оборудования в условиях неопределенности. В [10] предложено использовать многокритериальные оценки для уменьшения рисков при планировании ремонтов и замен сложного портового оборудования, функционирующего в условиях не полностью определенного грузопотока.

Рассмотрим вопрос оценки показателей эффективности при замене старого оборудования на более совершенное оборудование нового типа с сопоставимой производительностью. Введем следующие обозначения:  $A_o$  – стоимость покупки и монтажа оборудования старого типа, дол.;  $A_n$  – стоимость покупки и монтажа оборудования нового типа, дол.;  $c_o(t)$  – средняя интенсивность операционных расходов на оборудование старого типа после его эксплуатации в течение  $t$  лет, дол./год;  $c_n(t)$  – средняя интенсивность операционных расходов на оборудование нового типа после его эксплуатации в течение  $t$  лет, дол./год;  $S_o(t)$  – стоимость демонтажа и продажи оборудования старого типа после его эксплуатации в течение  $t$  лет, дол.;  $S_n(t)$  – стоимость демонтажа и продажи оборудования нового типа после его эксплуатации в течение  $t$  лет, дол.;  $T_o$  – время, в течение которого планируется использовать оборудование старого типа, лет;  $T_n$  – время, в течение которого планируется использовать оборудование нового типа, лет.

Для сравнения эффективности работы оборудования используем показатель *EAC* (Equivalent Annual Cost) [8]. Проанализируем временной интервал, состоящий из двух полных циклов использования оборудования. Планируется в течении первого цикла длительностью  $T_o$  лет использовать оборудование старого типа. Затем на протяжении второго цикла

длительностью  $T_n$  лет планируется использовать оборудование нового типа. Значение  $EAC$  для этих двух циклов равно [8]

$$EAC_{on}(T_o, T_n) = \left[ A_o + S_o(T_o) \cdot e^{-rT_o} + \int_0^{T_o} c_o(\tau) \cdot e^{-r\tau} d\tau + \left( A_n + S_n(T_n) \cdot e^{-rT_n} + \int_0^{T_n} c_n(\tau) \cdot e^{-r\tau} d\tau \right) \cdot e^{-rT_o} \right] \cdot \frac{e^r - 1}{1 - e^{-r(T_o+T_n)}} \cdot \quad (1)$$

Таким образом, значение  $EAC$  для двух полных циклов использования оборудования старого и нового типа является функцией переменных  $T_o$  и  $T_n$ . Значения  $T_o = T_o^{**}$  и  $T_n = T_n^{**}$ , при которых выражение (1) достигает своего минимума, можно считать оптимальными сроками службы оборудования при переходе от оборудования старого типа на новое оборудование. На рис. 1 представлена поверхность изменения значений  $EAC$  в зависимости от времени использования контейнерных перегружателей старого и нового типа [8].

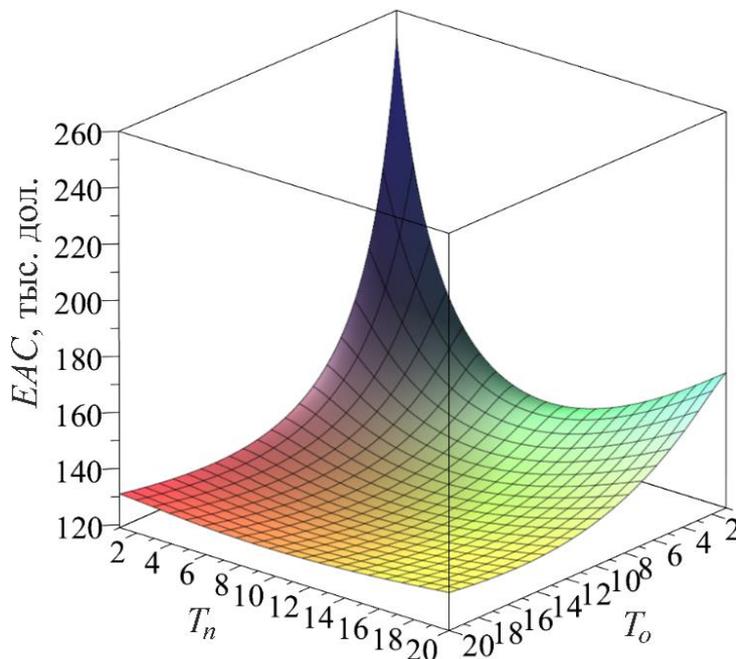


Рис. 1. Изменения значений  $EAC_{on}(T_o, T_n)$

В связи с воздействием различных случайных факторов по мере старения оборудования возможны существенные колебания значений

операционных расходов на оборудование. Поэтому имеет смысл описывать динамику изменения интенсивностей операционных расходов на оборудование с помощью случайных процессов  $c_o(t, \omega)$  и  $c_n(t, \omega)$ , где  $\omega \in \Omega$ , а  $(\Omega, A, P)$  – вероятностное пространство. Причем математические ожидания этих случайных процессов соответственно равны  $c_o(t) = E(c_o(t, \omega))$  и  $c_n(t) = E(c_n(t, \omega))$ . Показатель среднеквадратического отклонения равен

$$\sigma^2(EAC_{on}(T_o, T_n, \omega)) = \left( \frac{e^r - 1}{1 - e^{-r(T_o + T_n)}} \right)^2 \cdot \left[ \int_0^{T_o} \int_0^{T_o} K_o(t_1, t_2) \cdot e^{-r(t_1 + t_2)} dt_1 dt_2 + e^{-2 \cdot r \cdot T_o} \cdot \int_0^{T_n} \int_0^{T_n} K_n(t_1, t_2) \cdot e^{-r(t_1 + t_2)} dt_1 dt_2 \right], \quad (2)$$

где  $K_o(t_1, t_2)$  и  $K_n(t_1, t_2)$  – ковариационные функции случайных процессов  $c_o(t, \omega)$  и  $c_n(t, \omega)$  [8]. На рис. 2 представлен график изменения среднеквадратического отклонения значений  $EAC$  в зависимости от сроков замены оборудования.

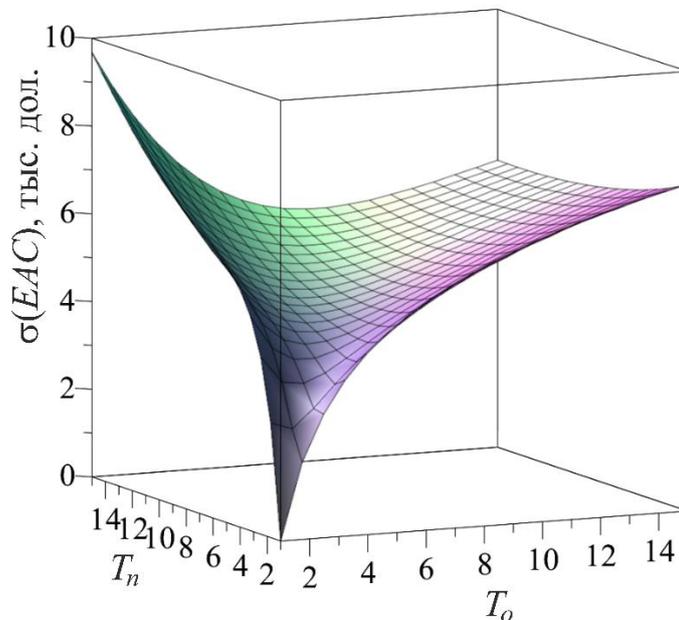


Рис. 2. График функции  $\sigma(EAC_{on}(T_o, T_n, \omega))$

Сопоставляя рис. 1 и рис. 2, можно видеть, что значения  $T_o$  и  $T_n$ , оптимальные с точки зрения среднего  $EAC$ , не будут соответствовать минимальным значениям среднеквадратических отклонений  $EAC$ . Поэтому, для того, чтобы обосновать такой выбор сроков замен оборудования, при котором достигался бы баланс между минимальностью и устойчивостью значений  $EAC$ , нужно исследовать соответствующие задачи многокритериальной оптимизации.

### **Литература**

1. Lapkina I. O. Optimization of the structure of sea port equipment fleet under unbalanced load / I. O. Lapkina, M. O. Malaksiano, M. O. Malaksiano // Actual Problems of Economics. – 2016. – Vol. 9, Issue 183. – P. 364–371.
2. Lapkina I. O. Modelling and optimization of perishable cargo delivery system through Odesa port / I. O. Lapkina, M. O. Malaksiano // Actual Problems of Economics. – 2016. – Vol. 3, Issue 177. – P. 353–365.
3. Малаксиано Н. А. Об оптимальных сроках ремонтов сложного портового оборудования / Н. А. Малаксиано // Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Економіка. – 2012. № 6, – Вип. 3. – С. 186–195.
4. Malaksiano N. On the optimal repairs and retirement terms planning for complex port equipment when forecast level of employment is uncertain / N. Malaksiano // Economic cybernetics. – 2012. – № 4–6 (76–78). – P. 49–56.
5. Malaksiano N. A. On the stability of economic indicators of complex port equipment usage / N. A. Malaksiano // Actual Problems of Economics. – 2012. – Vol. 12, Issue 138. – P. 226–233.
6. Lapkina I. Estimation of fluctuations in the performance indicators of equipment that operates under conditions of unstable loading / I. Lapkina,

- M. Malaksiano // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. Vol. 1. – Issue 3(91). – P. 22–29.
7. Nguyen T. P. K Optimal maintenance and replacement decisions under technological change with consideration of spare parts inventories / T. P. K Nguyen, T. G. Yeung, B. Castanier // *International Journal of Production Economics*. – 2013. – Vol. 143, Issue 2. – P. 472–477.
8. Lapkina I. Elaboration of the equipment replacement terms taking into account wear and tear and obsolescence / I. Lapkina, M. Malaksiano // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol. 3, No. 3 (93). – P. 30–39.
9. Лапкина И. А. О повышении устойчивости показателей эффективности при планировании сроков обновления сложного оборудования / И. А. Лапкина, Н. А. Малаксиано // *Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць*. – Одеса: ОНМУ, 2018. № 1, – Вип. 54. – С. 207–217.
10. Малаксиано Н. А. Использование многокритериальных оценок для уменьшения рисков при планировании ремонтов и замен сложного портового оборудования, функционирующего в условиях неполностью определенного грузопотока / Н. А. Малаксиано // *Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: зб. наук. праць. ОНМУ*. – 2013. – № 1 (20). – С. 7–27.