

*Секция: Технические науки*

**Малаксиано Николай Александрович**

*кандидат физико-математических наук, доцент кафедры управления*

*логистическими системами и проектами*

*Одесский национальный морской университет*

*г. Одесса, Украина*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ ЗАМЕНЫ СТАРОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОБОРУДОВАНИЕ НОВОГО ТИПА**

Целесообразность замены оборудования возникает по нескольким причинам. Во-первых, это связано с физическим износом. Физический износ может быть вызван стиранием деталей, усталостью материалов, окислением и другими причинами. Увеличение физического износа проявляется в возрастании количества поломок и росте уровня операционных расходов на оборудование. Во-вторых, целесообразность замены оборудования связана 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 видом износа, а совокупным влиянием физического и морального износа оборудования. Вопросы определения оптимальных сроков ремонтов сложного портового оборудования изучены в [1; 2]. В [3] исследовались вопросы определения оптимальных сроков службы оборудования с учетом возможности его реставрации. В работах [4; 5] были исследованы вопросы устойчивого функционирования транспортных систем в условиях неравномерного грузопотока и обоснование выбора оптимальной структуры парка оборудования. 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 неполностью определенного грузопотока.

Рассмотрим ситуацию, когда старое оборудование заменяется на более совершенное оборудование 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 оборудования старого типа после его эксплуатации в течение  $t$  лет, дол./год;  $c_n(t)$  – средняя интенсивность операционных расходов оборудования 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 на временных интервалах различной длины часто используется показатель  $EAC$  (Equivalent Annual Cost). Сначала рассмотрим схему, основанную на анализе временного интервала, состоящего из двух полных циклов использования оборудования. В рамках этой схемы планируется в течении первого цикла длительности  $T_o$  лет использовать оборудование старого типа. Затем планируется на протяжении второго цикла длительности  $T_n$  лет использовать оборудование нового типа. Современная стоимость общих расходов в течении этих двух циклов может быть рассчитана [8] как

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

Значение  $EAC$  для двух полных циклов использования оборудования старого и нового типа является функцией двух 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.

Рассмотрим бесконечный горизонт планирования. Причем, на протяжении первого полного цикла работы планируется использовать оборудование старого типа. Затем, на протяжении всех последующих циклов одинаковой длительности  $T_n$ , планируется использовать оборудование нового типа. В этом случае, очевидно [8], что

$$EAC_{on}^{\infty}(T_o, T_n) = \left[ A_o + S_o(T_o) \cdot e^{-rT_o} + \int_0^{T_o} c_o(\tau) \cdot e^{-r\tau} d\tau + \left( A_n + S_n(T_n) \cdot e^{-rT_n} + \int_0^{T_n} c_n(\tau) \cdot e^{-r\tau} d\tau \right) \cdot \frac{e^{-rT_o}}{1 - e^{-rT_n}} \right] \cdot (e^r - 1). \quad (2)$$

Обозначим значения  $T_o = T_o^{***}$  и  $T_n = T_n^{***}$ , при которых выражение (2) достигает своего минимума. Несложно проверить, что  $T_n^{***} = T_n^*$ .

На рис. 1 и 2 сплошной линией представлена кривая изменения значений  $EAC$  для оборудования старого типа, а пунктирной – кривые значений  $EAC$  для оборудования нового типа.

Расчеты показали [8], что значение  $T_o^*$  заметно превосходит значение  $T_o^{**}$ , а  $T_n^{**}$  – превосходит  $T_n^*$ . При этом очевидно, что чем более эффективным будет новое оборудование, тем больше будет разница между  $T_o^*$  и  $T_o^{**}$ . Так

как  $T_o^{***} < T_o^{**} < T_o^*$  и  $T_n^{**} > T_n^{***} = T_n^*$ , то следует уточнить, в каких ситуациях целесообразно использовать каждое из этих значений.

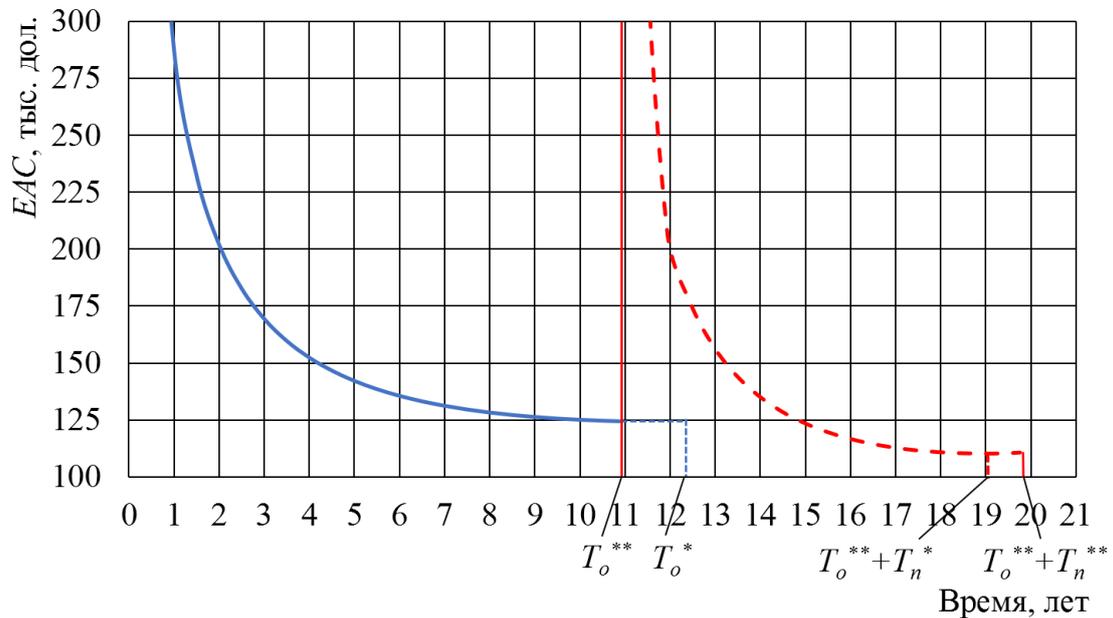


Рис. 1. График изменения  $EAC$  при двух циклах замены оборудования

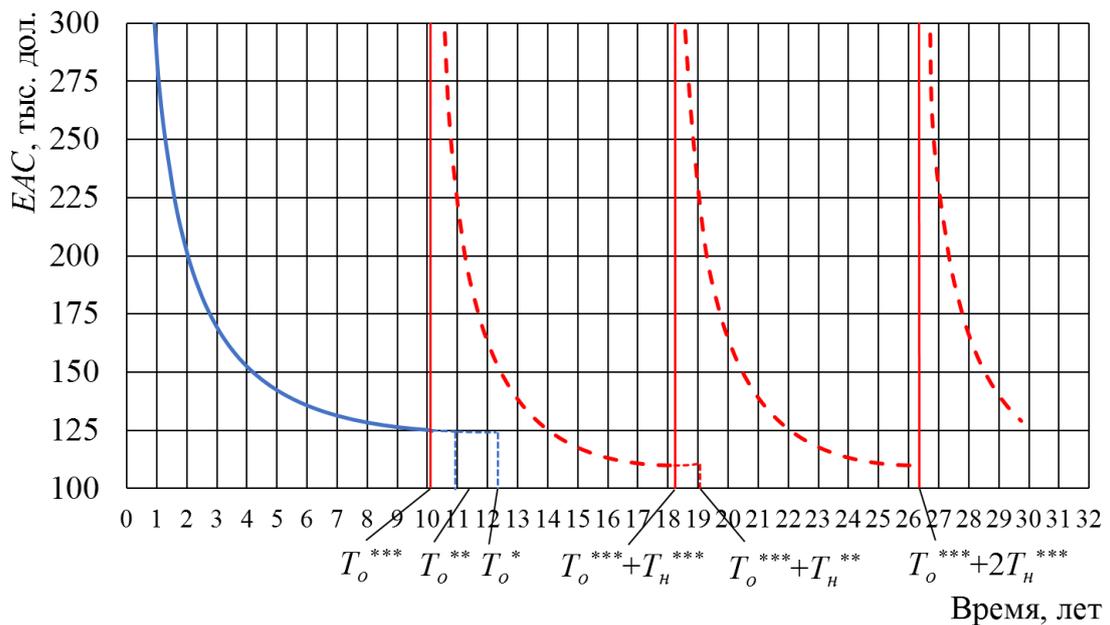


Рис. 2. График изменения  $EAC$  при бесконечном количестве циклов замен оборудования

Значения  $T_o^*$  и  $T_n^*$  определяют оптимальное время замены оборудования, обусловленное только его физическим износом. Оптимальное время замены оборудования с учетом как физического, так и

морального износа, определяется значениями  $T_o^{**}$ ,  $T_n^{**}$ ,  $T_o^{***}$  и  $T_n^{***}$ . При этом, в случае, если не стоит вопрос учета рисков, то выбор значений  $T_o^{***}$  и  $T_n^{***}$  в качестве оптимальных сроков службы оборудования можно считать наиболее обоснованным, поскольку при этом учитывается максимальный горизонт планирования. Однако, на максимальном горизонте планирования оценки колебаний показателей эффективности оборудования могут оказаться размытыми и ощутимо заниженными. Поэтому при изучении устойчивости показателей эффективности оборудования в ряде случаев может оказаться более целесообразным рассмотрение горизонта планирования, состоящего из двух циклов замены оборудования.

### **Литература**

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

5. 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.
6. Chronopoulos M. When is it Better to Wait for a New Version? Optimal Replacement of an Emerging Technology under Uncertainty / M. Chronopoulos, A. Siddiqui // Discussion Papers. Norwegian School of Economics, Department of Business and Management Science. – 2014. Vol. 26. – Available at: <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/217638/1/DiscussionPaper.pdf>
7. 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.
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.