

УДК 656.615:658.589

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ ЗАМЕНЫ ОБОРУДОВАНИЯ
С УЧЕТОМ ИЗНОСА И ИЗМЕНЕНИЙ ЕГО РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ**

И.А. Лапкина

д.э.н., профессор,

зав. кафедрой «Управление логистическими системами и проектами»

lapkina@ukr.net

Н.А. Малаксиано

к.ф.-м.н., доцент,

доцент кафедры «Управление логистическими системами и проектами»

malax@ukr.net

Одесский национальный морской университет

Аннотация. *Исследуются вопросы обоснования оптимальных сроков службы перегрузочного оборудования с учетом его физического и морального износа, а также с учетом изменений рыночной стоимости оборудования. В качестве основного показателя эффективности использования оборудования взят показатель ЕАС (Equivalent Annual Cost). В результате проведенного исследования предложена методика расчета оптимальных сроков замены оборудования. Исследования показали, что при планировании стратегий обновления оборудования в ряде случаев целесообразно существенно сократить срок эксплуатации машин старого типа. Предложенная методика позволяет обосновывать как оптимальное время замены оборудования, так и оптимальный возраст приобретаемого оборудования.*

Ключевые слова: *замена оборудования, эффективность использования оборудования, физический износ, моральный износ, Equivalent Annual Cost.*

УДК 656.615:658.589

**ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНІВ ЗАМІНИ ОБЛАДНАННЯ
З УРАХУВАННЯМ ЗНОСУ І ЗМІН ЙОГО РИНКОВОЇ ВАРТОСТІ**

І.О. Лапкіна

д.е.н., професор,

зав. кафедри «Управління логістичними системами та проектами»

lapkina@ukr.net

М.О. Малаксіано

к.ф.-м.н., доцент,

доцент кафедри «Управління логістичними системами та проектами»,

malax@ukr.net

Одеський національний морський університет

Анотація. Досліджуються питання обґрунтування оптимальних термінів служби перевантажувального обладнання з урахуванням його фізичного і морального зносу, а також з урахуванням змін ринкової вартості обладнання. В якості основного показника ефективності використання обладнання вибрано показник ЕАС (Equivalent Annual Cost). В результаті проведеного дослідження запропоновано методіку розрахунку оптимальних термінів заміни обладнання. Дослідження показали, що при плануванні стратегій оновлення обладнання у ряді випадків доцільно істотно скоротити термін експлуатації машин старого типу. Запропонована методика дозволяє обґрунтовувати як оптимальний час заміни обладнання, так і оптимальний вік обладнання, що планується придбати.

Ключові слова: заміна обладнання, ефективність використання обладнання, фізичний знос, моральний знос, Equivalent Annual Cost.

UDC 656.615:658.589

DETERMINATION OF REPLACEMENT TERMS OF EQUIPMENT TAKING INTO ACCOUNT DETERIORATION AND CHANGES OF ITS MARKET VALUE

I.O. Lapkina

doctor of economic sciences, professor,
head of department of «Management of logistics systems and projects»
lapkina@ukr.net

M.O. Malaksiano

PhD, associate professor,
department of «Management of logistics systems and projects»
malax@ukr.net

Odessa National Maritime University

Abstract. *Issues of substantiation of the optimal service life of the handling equipment are examined, taking into account wear and tear, obsolescence and changes in the equipment market value. The EAC (Equivalent Annual Cost) was used as the key performance indicator. As a result of the study, a method for planning equipment replacement terms was proposed. Studies have shown that when planning strategies for upgrading equipment in some cases it is advisable to reduce the life time of old-type machines. The proposed method allows to substantiate both the optimal time for equipment replacement and the optimal age of the equipment being purchased.*

Keywords: *equipment replacement, equipment use efficiency, deterioration, obsolescence, Equivalent Annual Cost.*

Введение. Модернизация и своевременное обновление оборудования является важным фактором, определяющим эффективное развитие многих предприятий. Поэтому развитие методов обоснования оптимальных сроков службы оборудования имеет большой практический интерес.

Оптимальное время замены оборудования зависит от ряда факторов. Одним из ключевых факторов, определяющих сроки службы оборудования, является физический износ, который проявляется в возрастании количества поломок и росте операционных издержек на оборудование. Вместе с тем на сроки замены оборудования влияет уровень его морального износа, который определяется доступностью на рынке более эффективных или более дешевых аналогов данного оборудования. Также при выборе оптимальных сроков оборудования необходимо учитывать динамику изменения рыночной стоимости как нового, так и бывшего в употреблении оборудования. В большинстве случаев выбор оптимальных сроков обновления оборудования определяется не каким-то одним фактором, а совокупным влиянием всех перечисленных факторов.

В настоящее время ряд украинских предприятий, и в том числе многие предприятия транспортной отрасли, нуждаются в модернизации оборудования. Поэтому большую актуальность имеют вопросы развития теоретических методов, позволяющих эффективно исследовать практические задачи, связанные с обоснованием оптимальных сроков перехода на оборудование нового типа.

Вопросы обоснования оптимальных сроков замены оборудования имеют большое практическое значение. Их изучению посвящен ряд работ разных авторов. Исследования в этом направлении продолжают активно развиваться. В работе [1. С.156-168] для нахождения оптимальных сроков замены оборудования используется метод динамического программирования. В статьях [2-4] исследованы задачи определения оптимальных сроков ремонтов сложного портового оборудования. Вопросы ускоренного определения предела выносливости деталей машин и элементов конструкций, а также вопросы оперативной оценки долговечности новых и восстановленных деталей изучены в работах [5; 6]. Проблемы оптимизации системы технического обслуживания и ремонта средств механизации исследованы в [7]. Вопросы устойчивого функционирования транспортных систем в условиях неравномерного грузопотока и обоснование выбора структуры парка оборудования изучены в публикациях [8; 9]. В [10] изучена задача определения оптимальных сроков службы оборудования с учетом возможности его реставрации. Оптимизации резерва парка портовых перегрузочных машин и определению остаточного ресурса оборудования посвящены работы [11; 12]. В работах [13-15] исследованы оптимальные сроки замены оборудования в условиях неопределенности. В работе [16] использованы многокритериальные оценки для уменьшения рисков при планировании ремонтов и замен сложного портового оборудования, функционирующего в условиях неполностью определенного грузопотока. В статье [17] обоснованы сроки перехода на оборудование нового типа с учетом физического и морального износа, однако не были учтены изменения рыночной стоимости оборудования.

Постановка задачі. Целью данной работы является обоснование оптимальных сроков службы оборудования с учетом его физического и морального износа, а также с учетом изменений рыночной стоимости оборудования.

Изложение основного материала исследования. Будем учитывать не только то, что рыночная стоимость оборудования зависит от его возраста T , но и то, что даже для однотипного оборудования одного и того же возраста T его рыночная стоимость в разные моменты времени t может отличаться. Обозначим через $A_o(T, t)$ стоимость оборудования старого типа, бывшего в употреблении на протяжении T лет, в момент времени t , дол., а через $A_n(T, t)$ – стоимость оборудования нового типа, бывшего в употреблении на протяжении T лет, в момент времени t , дол. Будем считать, что интенсивность операционных расходов, а также стоимость монтажа и демонтажа оборудования зависят только от текущего возраста оборудования. Пусть $c_o(T)$ – средняя интенсивность операционных расходов оборудования старого типа после его эксплуатации в течение T лет, дол./год, а $c_n(T)$ – средняя интенсивность операционных расходов оборудования нового типа после эксплуатации в течение T лет, дол./год. Для обозначения стоимости монтажа и демонтажа будем использовать следующие обозначения:

$S_{o,m}$ – стоимость монтажа и сопутствующие издержки для оборудования старого типа, долл.;

$S_{n,m}$ – стоимость монтажа и сопутствующие издержки для оборудования нового типа, долл.;

$S_{o,d}$ – стоимость демонтажа и сопутствующие издержки для оборудования старого типа, долл.;

$S_{n,d}$ – стоимость демонтажа и сопутствующие издержки для оборудования нового типа, долл.

Обозначим r – годовую ставку процента при непрерывном наращении. Тогда современная стоимость капитальных расходов, приведенных к моменту времени t_1 , для оборудования старого типа, уже бывшего в употреблении на протяжении T лет, при его использовании от момента времени t_1 до момента времени t_2 находится по формуле

$$PV(C_{o, cap}(T, t_1, t_2)) = A_o(T, t_1) + S_{o,m} - A_o(T + t_2 - t_1, t_2) \cdot e^{-r(t_2 - t_1)} + S_{o,d} \cdot e^{-r(t_2 - t_1)}. \quad (1)$$

Современная стоимость операционных расходов, приведенных к моменту времени t_1 , для оборудования старого типа, уже бывшего в употреблении на протяжении T лет, при его использовании от момента времени t_1 до момента времени t_2 равна

$$PV(C_{o,oper}(T, t_1, t_2)) = \int_0^{t_2-t_1} c_o(\tau + T) \cdot e^{-r \cdot \tau} d\tau. \quad (2)$$

Таким образом, современная стоимость общих расходов, приведенных к моменту времени t_1 , для оборудования старого типа, уже бывшего в употреблении на протяжении T лет, при его использовании от момента времени t_1 до момента времени t_2 равна

$$\begin{aligned} PV(C_{o,total}(T, t_1, t_2)) &= PV(C_{o,cap}(T, t_1, t_2)) + PV(C_{o,oper}(T, t_1, t_2)) = \\ &= A_o(T, t_1) + S_{o,m} - A_o(T + t_2 - t_1, t_2) \cdot e^{-r(t_2-t_1)} + \\ &+ S_{o,d} \cdot e^{-r(t_2-t_1)} + \int_0^{t_2-t_1} c_o(\tau + T) \cdot e^{-r \cdot \tau} d\tau. \end{aligned} \quad (3)$$

Для сравнения эффективности работы оборудования на временных интервалах различной длины используем показатель EAC (Equivalent Annual Cost). EAC равняется современному значению расходов на оборудование, умноженному на $CRF(t, r)$ (Capital Recovery Factor), где

$$CRF(t, r) = \frac{e^r - 1}{1 - e^{-r \cdot t}}. \quad (4)$$

Таким образом, значение EAC для оборудования старого типа, уже бывшего в употреблении на протяжении T лет, при его использовании от момента времени t_1 до момента времени t_2 находится по формуле

$$EAC_o(T, t_1, t_2) = PV(C_{o,total}(T, t_1, t_2)) \cdot \frac{e^r - 1}{1 - e^{-r(t_2-t_1)}}. \quad (5)$$

Аналогично, для оборудования нового типа, уже бывшего в употреблении на протяжении T лет, при его использовании от момента времени t_1 до момента времени t_2 значение EAC равно

$$EAC_n(T, t_1, t_2) = PV(C_{n,total}(T, t_1, t_2)) \cdot \frac{e^r - 1}{1 - e^{-r(t_2-t_1)}}, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} PV(C_{n,total}(T, t_1, t_2)) &= \\ &= A_n(T, t_1) + S_{n,m} - A_n(T + t_2 - t_1, t_2) \cdot e^{-r(t_2-t_1)} + \\ &+ S_{n,d} \cdot e^{-r(t_2-t_1)} + \int_0^{t_2-t_1} c_n(\tau + T) \cdot e^{-r \cdot \tau} d\tau. \end{aligned} \quad (7)$$

В качестве нулевой точки отсчета времени может быть выбран любой фиксированный момент времени. Функции изменения стоимости оборудования в зависимости от его возраста могут быть получены на основании регрессионного анализа имеющихся данных и экспертных оценок. Рассмотрим портовые контейнерные перегружатели старого и нового типа, для которых функции изменения стоимости соответственно равны $A_o(T,t) = 240 \cdot (1 - 0,01 \cdot T^{0,69}) \cdot (1 - 0,81 \cdot T^{0,06})$, тыс. долл., и $A_n(T,t) = 195 \cdot (1 - 0,06 \cdot T^{0,48}) \cdot (1 - 0,63 \cdot T^{0,16})$, тыс. долл. Средняя динамика операционных расходов описывается с помощью функций $c_o(t) = 75,07 + 0,21 \cdot t^{2,11}$, тыс. долл./год, и $c_n(t) = 60,52 + 0,22 \cdot t^{2,52}$, тыс. долл./год, полученных с помощью регрессионного анализа по фактическим данным использования оборудования. Расходы, связанные с транспортировкой, монтажом и вводом в эксплуатацию, а также с демонтажем и выводом из эксплуатации для оборудования старого и нового типа соответственно равны $S_{o,m} = 19,1$ тыс. долл., $S_{o,d} = 12,8$ тыс. долл., $S_{n,m} = 9,5$ тыс. долл., $S_{n,d} = 3,5$ тыс. долл. Годовая процентная ставка, приведенная в долях, принята равной $r = 0,10$.

На рис. 1 представлены графики изменений $EAC_o(0,0,t_2)$ и $EAC_n(0,0,t_2)$, показывающие динамику изменения значений EAC в зависимости от времени окончания срока службы t_2 для оборудования старого и нового типа при условии, что это оборудование было приобретено в момент времени $t_1 = 0$ и до этого не использовалось ($T = 0$). При этом минимальные значения EAC для оборудования старого и нового типа достигаются при $t_2^{o*} = 12,73$ и $t_2^{n*} = 7,91$ и соответственно равны $EAC_o(0,0,t_2^{o*}) = 127,40$ и $EAC_n(0,0,t_2^{n*}) = 111,07$. Все численные расчеты по формулам (1)-(7), необходимые для построения графиков и нахождения оптимальных значений, были реализованы в среде математических вычислений Maple.

Рассмотрим динамику изменения показателей EAC для оборудования старого и нового типа при условии, что приобретаемые машины ранее уже были в эксплуатации. На рис. 2, 3, а также в табл. 1, 2 представлены результаты вычислений EAC при различных возрастах приобретаемого оборудования T и разных значениях времени окончания срока службы оборудования t_2 . При этом предполагается, что время начала использования оборудования $t_1 = 0$.



Рис. 1. Графики изменения ЕАС для оборудования старого и нового типа в зависимости от времени окончания срока службы

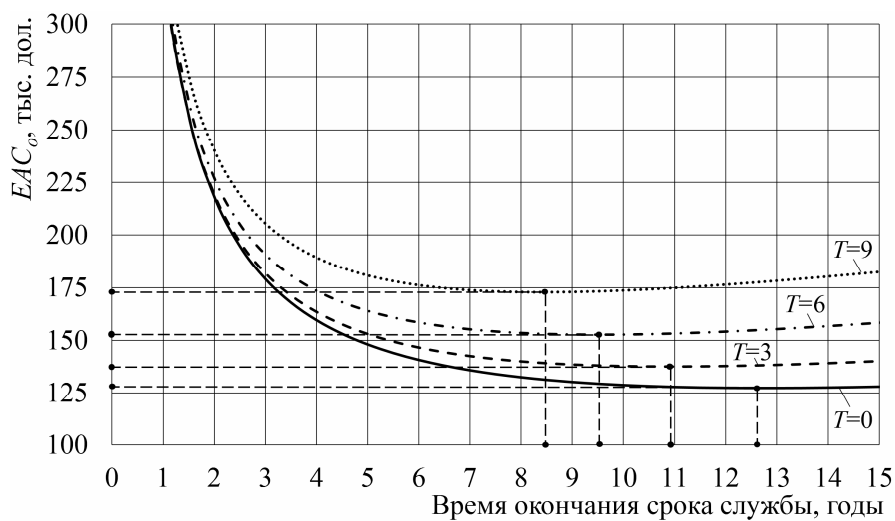


Рис. 2. Графики изменения ЕАС для оборудования старого типа в зависимости от времени окончания службы и его возраста в момент приобретения

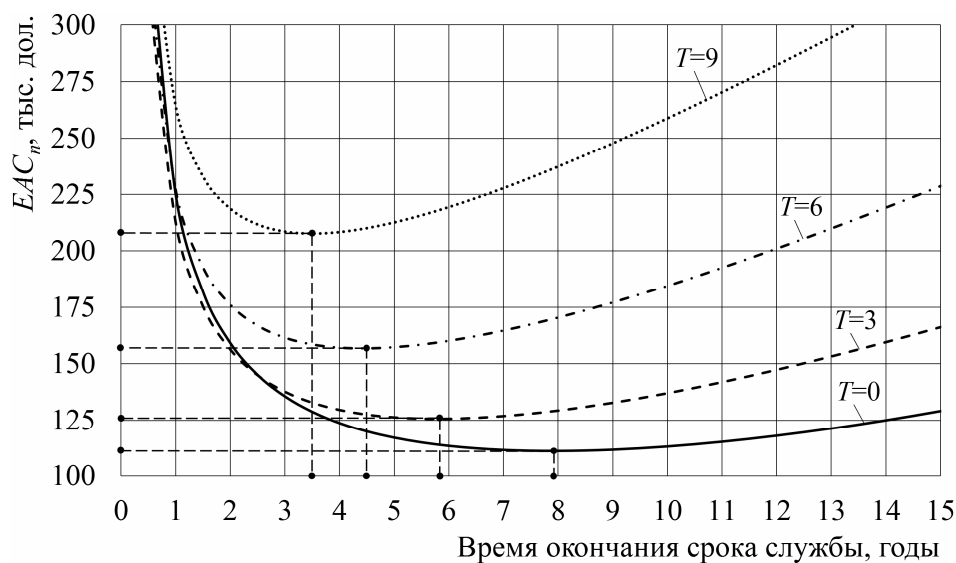


Рис. 3. Графіки изменения ЕАС для оборудования нового типа в зависимости от времени окончания службы и его возраста в момент приобретения

Таблица 1

Значения $EAC_o(T,0,t_2)$ для оборудования старого типа в зависимости от его возраста в момент приобретения и времени окончания срока службы

Возраст оборудования в момент его приобретения (T), лет	Время окончания срока службы оборудования (t_2), лет							
	1	3	5	7	9	11	13	15
0	333,03	179,09	148,07	135,82	130,25	127,91	127,41	128,05
3	331,14	181,79	152,96	142,48	138,47	137,53	138,31	140,12
6	336,58	190,72	163,93	155,19	152,73	153,21	155,29	158,28
9	348,17	205,63	180,89	173,90	173,03	174,97	178,37	182,56

Таблиця 2

Значения $EAC_n(T, 0, t_2)$ для оборудования нового типа
в зависимости от его возраста в момент приобретения
и времени окончания срока службы

Возраст оборудования в момент его приобретения (T), лет	Время окончания срока службы оборудования (t_2), лет							
	1	3	5	7	9	11	13	15
0	225,40	135,54	117,07	111,54	111,65	115,21	121,21	129,03
3	212,99	137,65	126,28	126,84	132,73	141,85	153,20	166,14
6	227,35	161,51	157,30	164,64	177,09	192,53	209,94	228,64
9	264,25	208,56	212,60	227,76	247,68	270,28	294,47	319,56

В табл. 3 представлены значения t_2^{o*} , являющиеся решениями задачи оптимизации

$$EAC_o(T, 0, t_2) \xrightarrow{t_2} \min, \quad (8)$$

а также значения t_2^{n*} , являющиеся решениями задачи оптимизации

$$EAC_n(T, 0, t_2) \xrightarrow{t_2} \min \quad (9)$$

при $t_1 = 0$ и различных фиксированных значениях T .

Таблиця 3

Оптимальные значения времени окончания срока службы
и соответствующие им значения EAC для оборудования старого
и нового типа в зависимости от возраста приобретаемых машин

Возраст оборудова- ния в момент его приобре- тения (T), лет	Оптимальные значения для оборудования старого типа		Оптимальные значения для оборудования нового типа	
	время окончания срока службы (t_2^{o*}), лет	значение $EAC_o(T, 0, t_2^{o*})$, тыс. долл.	время окончания срока службы (t_2^{n*}), лет	значение $EAC_n(T, 0, t_2^{n*})$, тыс. долл.
0	12,73	127,40	7,91	111,07
3	10,91	137,53	5,79	125,63
6	9,52	152,64	4,42	156,77
9	8,43	172,91	3,50	207,70

Исследуем оптимальные сроки службы при переходе от оборудования старого типа на оборудование нового типа, которое сопоставимо по производительности со старым, а также изучим вопрос целесообразности приобретения бывшего в употреблении оборудования и его оптимальный возраст в момент приобретения. Предположим, что в течение первого цикла, длящегося от момента времени t_1 до момента времени t_2 , планируется использовать оборудование старого типа. При этом предполагается, что в момент времени t_1 это оборудование уже было в употреблении на протяжении T_1 лет. Затем на протяжении второго цикла, длящегося от момента времени t_2 до момента времени t_3 , планируется использовать оборудование нового типа. При этом допускается, что приобретаемое оборудование нового типа ранее уже было в употреблении, и его возраст в момент времени t_1 составлял T_2 лет. В таком случае современная стоимость общих расходов в течение этих двух циклов находится по формуле

$$EAC_{on}(T_1, T_2, t_1, t_2, t_3) = [PV(C_{o, total}(T_1, t_1, t_2)) + PV(C_{n, total}(T_2, t_2, t_3)) \cdot e^{-r(t_2-t_1)}] \cdot \frac{e^r - 1}{1 - e^{-r(t_3-t_1)}}. \quad (10)$$

Таким образом, значение EAC для двух полных циклов использования оборудования старого и нового типа зависит от возраста приобретаемого оборудования T_1 и T_2 , а также от выбора моментов времени начала и окончания использования этого оборудования t_1 , t_2 и t_3 .

Предположим, что оборудование старого типа уже находится в эксплуатации, начиная с момента времени $t_1 = t_1^0$. Таким образом, задача обоснования выбора времени перехода на оборудование нового типа сводится к задаче нахождения таких T_2 , t_2 и t_3 , при которых выражение (10) достигает минимума, при условии, что значения $T_1 = T_1^0$ и $t_1 = t_1^0$ фиксированы

$$EAC_{on}(T_1^0, T_2, t_1^0, t_2, t_3) \xrightarrow{T_2, t_2, t_3} \min. \quad (11)$$

Будем обозначать $T_2 = T_2^{**}$, $t_2 = t_2^{**}$ и $t_3 = t_3^{**}$ – значения, при которых выражение (11) достигает своего минимума.

Положим $t_1 = t_1^0 = 0$ и рассмотрим ситуацию, когда оборудование старого типа, приобретённое в момент времени t_1^0 , ранее не использовалось (т.е. $T_1^0 = 0$), а также ситуации, когда это оборудование до

момента времени t_1 уже было в эксплуатации на протяжении $T_1^0 = 3$, $T_1^0 = 6$ или $T_1^0 = 9$ лет. Для решения задачи оптимизации (11) используем численные методы, реализованные в среде Maple. Результаты вычислений представлены в табл. 4.

Таблица 4

Оптимальный возраст оборудования нового типа и даты начала и окончания его использования при переходе от оборудования старого типа к оборудованию нового типа

Возраст оборудования старого типа в момент времени t_1^0 , (T_1^0), лет	T_2^{**}	t_2^{**}	t_3^{**}	Срок службы старого оборуд., $t_2^{**} - t_1^0$, лет	Срок службы нового оборуд., $t_3^{**} - t_1^0$, лет	$EAC_{on}(T_1^0, T_2^{**}, t_1^0, t_2^{**}, t_3^{**})$, тыс. долл.
0	0,00	7,96	16,47	7,96	8,50	116,11
3	0,00	5,50	14,21	5,50	8,72	120,06
5	0,00	3,20	12,18	3,20	8,98	124,94
7	0,00	1,25	10,41	1,25	9,17	128,83

Как видно из табл. 4, оптимальное время перехода на оборудование нового типа t_2^{**} , а также его оптимальный возраст T_2^{**} и дата окончания использования t_3^{**} существенно зависят от состояния того оборудования старого типа, на смену которому оно приходит. Расчеты показали, что для всех рассмотренных случаев оптимальный возраст оборудования нового типа в момент его приобретения $T_2^{**} = 0$. На рис. 4 представлены графики изменения значений EAC при переходе от оборудования старого типа к оборудованию нового типа. Сплошной линией представлена кривая изменения значений EAC для оборудования старого типа, а пунктирной – кривая значений EAC для оборудования нового типа.

Из рис. 4 видно, что значение t_2^{o*} существенно превосходит значение t_2^{**} , а t_3^{**} превосходит $t_2^{**} + t_2^{o*}$. Сопоставляя значения в табл. 3 и 4, можно увидеть, что при покупке нового оборудования ($T_1^0 = 0$) старого типа его оптимальный срок службы при условии замены на оборудование такого же типа составляет 12,76 года, но если это оборудование планируется заменить на оборудование нового типа, то оптимальный срок службы старого оборудования сокращается до 7,96 лет.

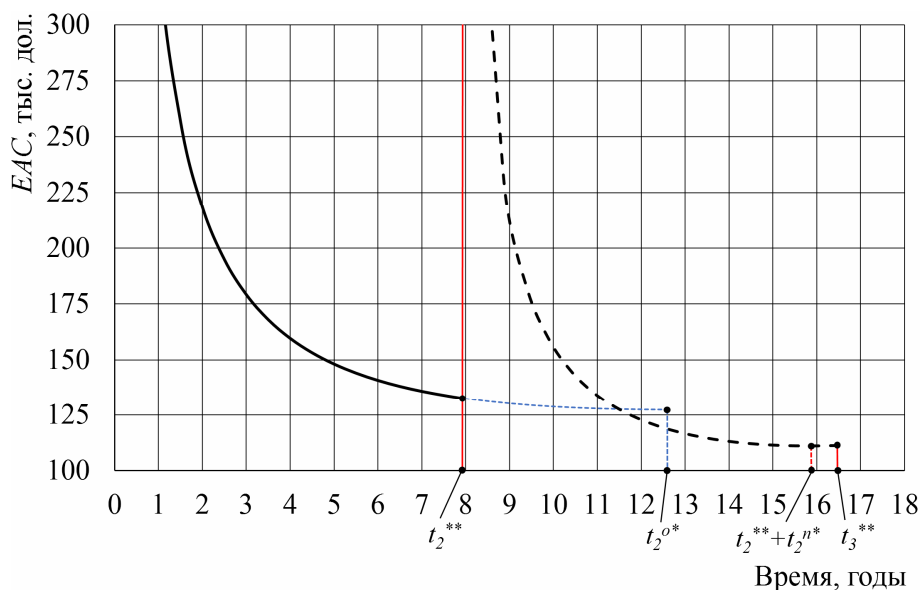


Рис. 4. Графики изменения ЕАС при переходе от оборудования старого типа к оборудованию нового типа

Заключение. Выбор оптимальных моментов времени для замены оборудования и оптимальных сроков службы оборудования существенно зависят как от технического состояния и показателей эффективности эксплуатации оборудования старого и нового типа, так и от изменений рыночной стоимости оборудования. В работе предложена методика расчета оптимальных сроков замены оборудования при переходе на оборудование нового типа. Вместе с повышением показателей эффективности использования оборудования большое значение имеет устойчивость данных показателей эффективности к возможным воздействиям различных случайных факторов. Во многих случаях текущие расходы на оборудование подвержены случайным колебаниям, причем степень неопределённости таких расходов становится все больше по мере увеличения времени эксплуатации оборудования. Изменение рыночной стоимости оборудования также может быть подвержено существенным колебаниям. Поэтому практический интерес имеет развитие предложенных в данной работе методов для обоснования оптимальных сроков замены оборудования с учетом устойчивости показателей эффективности использования оборудования.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус / Под ред. А.А. Первозванского. – М.: Наука, 1965. – 460 с.
2. 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. № 3 (93). – P. 30-39.
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. Коноплёв А.В. Классификация методов ускоренного определения предела выносливости деталей машин и элементов конструкций / А.В. Коноплёв, С.В. Курочкина, Ю.А. Никифоров // *Проблемы техники*. – 2014. – № 1. – С. 26-33.
6. Коноплёв А.В. Сравнительная оперативная оценка долговечности новых и восстановленных деталей / А.В. Коноплёв, О.Н. Кононова, А.Г. Кибакон // *Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць*. – Одеса: ОНМУ, 2017. – № 1, – Вип. 50. – С. 92-99.
7. Остпачук А.А. Управление системой технического обслуживания и ремонта средств механизации грузового терминала / А.А. Остпачук, А.О. Немчук // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2012. – Вып. 1. – № 11(55). – С. 14-15.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

11. Немчук А.О. Оптимизация резерва парка портовых перегрузочных машин / А.О. Немчук, Н.Ф.Зубко // Підйомно-транспортна техніка. – 2017. – № 2. – С. 57-65.
12. Немчук А.О. Определение остаточного ресурса металлоконструкции козлового крана / А.О. Немчук, М.А. Стариков // Труды Одесского политехнического университета. – 2008. – Вып. 2(30). – С. 36-39.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Малаксиано Н.А. Использование многокритериальных оценок для уменьшения рисков при планировании ремонтов и замен сложного портового оборудования, функционирующего в условиях неполнотью определенного грузопотока / Н.А. Малаксиано // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць ОНМУ. – 2013. – № 1 (20). – С. 7-27.
17. 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. – 3 (93). – P. 30-39.

Стаття надійшла до редакції 29.10.2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи Одеського національного морського університету
А.В. Шахов

кандидат технічних наук, доцент, ректор Інституту морегосподарства і підприємництва **О.В. Яценко**