Кликушин С.Н.,
ФГУП «Центральный Аэрогидродинамический Институт
имени профессора Н.Е. Жуковского»
Отделение ресурса конструкций летательных аппаратов

Определение оптимального времени досрочной смены морально стареющих средств производства

Часть 2. (Моделирование процесса изменения переменных затрат линейной функцией З=В+КХ)

Проведена проверка метода определения оптимального времени досрочной смены морально стареющих средств производства, когда изменение переменных затрат в единице продукции происходит не по квадратичной, а по линейной функции.

На разных видах техники, которая является средством производства. процессы роста и изменения затрат на единицу выпускаемой продукции могут иметь существенные отличия. Например, рост и изменения переменных затрат на производство продукции в процессе эксплуатации техники может иметь характер линейной функции З=В+ КХ. Линейная зависимость изменения переменных затрат говорит о хорошей предварительной отработке техники перед вводом ее в эксплуатацию. Она отражает линейную зависимость интенсивности отказов средства производства за время его эксплуатации, в которой нет случайных отказов на начальной стадии эксплуатации техники. Случайные отказы в начале эксплуатации отражаются в квадратичной функции переменных затрат. Такие отказы устраняются качественным проектированием техники и стендовыми ресурсными испытаниями материалов, образцов, конструктивных элементов и натурной конструкции разрабатываемого средства производства.

Линейная зависимость изменения переменных затрат в единице продукции позволяет провести моделирование процессов изменения полных затрат единицы продукции с помощью аналитических выражений, что является более простым и удобным способом, по сравнению с численными методами используемыми в расчетах затрат единицы продукции, в которой переменные затраты заданы квадратичной функцией. Обозначим исходные данные старой и новой техники

Цст; Цн – затраты на создание старой техники и новой техники.

Хст; Хн – текущий объем выпускаемой продукции на старой и новой технике.

Хopt ст; Хopt н – оптимальный объем выпускаемой продукции на старой и новой технике.

q ст; q н – годовой объем выпускаемой продукции на старой и новой технике.

Тopt ст; Тopt н - оптимальный срок эксплуатации старой и новой техники

Тст; Тн – текущий срок эксплуатации старой и новой техники

Где - Тст =Хст/q ст; Тн =Хн /q н;

Аст=Цст/Хст; Ан=Цн/Хн – затраты на создание старой и новой техники в единице продукции.

З ст; Зн – переменные затраты на непосредственное производство единицы продукции на старой и новой техники т.е. Зст=Вст+Кст*Хст; Зн=Вн+Кн*Хн

Вст; Вн – постоянный коэффициент изменения переменных затрат на производство продукции выпускаемой на старой и новой технике. Коэффициент, который включает в себя все качественные изменения в технике, влияющие на величину переменных затрат в единице продукции (производительности труда, снижение затрат на топливо, технологическое совершенство и т.д.).

Кст; Кн - коэффициент изменения переменных затрат на старой и новой техники на протяжении всего срока эксплуатации техники.

Сст; Сн – полные затраты на создание старой и новой техники т.е. -

Сст=Аст+Вст+КстХст; Сн= Ан+Вн+КнХн

Или $Сст = \frac{Цст}{Хст} + Вст + Кст * Хст$; (1) $Сн = \frac{Цн}{Хн} + Вн + Кн * Хн$ (1а)

График изменения структуры полных затрат на единицу продукции выпускаемой на стареющем станке, в которых переменные затраты имеют характер линейной функции, показан на рисунке 1.

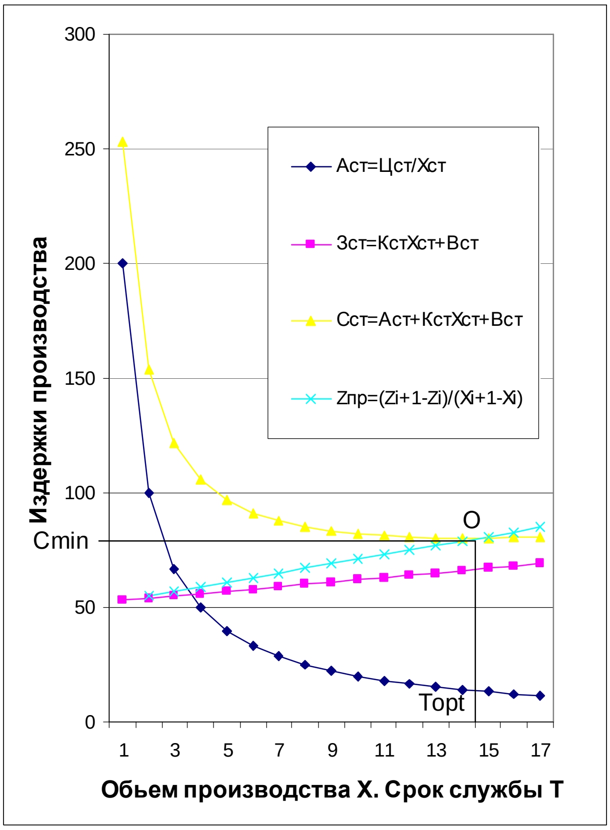

Рисунок 1- Изменения затрат на выпускаемую продукцию для стареющего средства производства, в которых переменные затраты имеют вид линейной функции

Найдем объем производства продукции, при котором затраты на единицу продукции С становятся минимальными. Производную от функции полных затрат С' приравняем к нулю и найдем объем производства X=Topt, который будет оптимальным объемом производства для производства продукции с минимальными затратами

$C'ст(Xст)=0$; $C'н(Xн)=0$.

$$C'ст=\left(\frac{Цст}{Xст}+Вст+Кст*Xст\right)'=-\frac{Цст}{X^2ст}+Кст=0; \quad C'н=\frac{Цн}{X^2н}+Кн$$

Соответственно: $Xст = Xopt\ ст = \sqrt{\frac{Цст}{Кст}}$ (2) $Xн=Xopt\ н=\sqrt{\frac{Цн}{Кн}}$ (2а)

Найдем выражение минимальных затрат. Подставим в уравнения полных затрат, найденные значения Хст, Хн (формула 2, 2а) и получим

$$Cmin\ ст = \frac{Цст}{\sqrt{\frac{Цст}{Кст}}}+Вст+Кст\sqrt{\frac{Цст}{Кст}} = \sqrt{ЦстКст}+Вст+\sqrt{ЦстКст} = 2\sqrt{ЦстКст}+Вст,$$

Т.е. для старой техники $C\min ст = 2\sqrt{ЦстКст}+Вст$ (3)

и для новой техники $C\min н = 2\sqrt{ЦнКн}+Вн$. (3а)

Зададим в таблице 1 исходные технико–экономические данные модели стареющего средства производства, которое, как и в 1 части статьи, является некоторым станком.

Таблица 1

Цст	Кст	Вст	qст
руб	руб/ед^2	руб/ед	единиц/год
20000000	0,0001	52	10000

Данные таблицы 1 равны или близки к ранее исследованному случаю в 1-й части статьи, где переменные затраты на единицу продукции были заданы квадратичной функцией. Равенство или близость исходных данных дает возможность сравнения полученных результатов для станков в которых изменение переменных затрат заданы квадратичной и линейной функцией.

Используя данные таблицы 1 найдем минимальное значение затрат на единицу выпускаемой продукции на старой технике, а также найдем оптимальный срок службы старой техники или оптимальный объем ее производства. Для этого подставим исходные данные таблицы 1 в полученные формулы и получим

$C\min ст = 2\sqrt{ЦстКст}+Вст = 2\sqrt{2000000\cdot 0{,}0001}+52$ =80,28 руб.

$Xст = Xopt\ ст = \sqrt{\frac{Цст}{Кст}} == \sqrt{\frac{2000000}{0{,}0001}} = 141421{,}35$; Тст=Xopt/qст=141421,35/10000=14,14 лет. На рисунке 1 минимум затрат на единицу продукции (С min ст) обозначен точкой О.

Расчеты среднего темпа снижения полных затрат основаны на естественной последовательности смены поколений техники, где окончание эксплуатации стареющей техники является началом эксплуатации новой техники. Средний темп снижения полных затрат при планируемом сроке смены техники будет рассчитываться точно также как для средств производства, в которых переменные затраты заданы квадратичной функцией

$Т_{емп}=\Delta Cmin/(Xopt\ ст+Xopt\ н)=(Cmin\ ст-Cmin\ н)/(Xopt\ ст+Xopt\ н)=$

$$Т_{емп}=\frac{2\sqrt{ЦстКст}+Вст-2\sqrt{ЦнКн}-Вн}{\sqrt{\frac{Цст}{Кст}}+\sqrt{\frac{Цн}{Кн}}} \qquad (4)$$

В случае, если происходит досрочная смена техники, то минимальное значение затрат на производство единицы продукции на новой технике определяется с учетом переноса части не полностью амортизированной стоимости старой техники на новую технику.

Выведем формулу для расчета среднего темпа снижения полных затрат, при смене старой техники в любой год ее эксплуатации до наступления времени ее плановой смены. Величина недоамортизированной стоимости старой техники равна.

$$\Delta Аст=(Xopt\ ст-Хст)*а_{ст} \qquad (5)$$

где $а_{ст}$ –величина амортизационных затрат переносимых на единицу продукции, выпускаемой на старой технике. Увеличенная стоимость новой техники при досрочной смене будет равна

$$Цн_{\ \Delta Аст}=Цн+\Delta Аст \qquad (6)$$

Затраты на создание новой техники в единице продукции с учетом недоамортизированной старой техники будут равны

$$Ан_{\ \Delta Аст}=(Цт\ н+\Delta Аст)/Хн=(Цт+(Xopt\ ст-Хст)а_{ст})/Хн \qquad (7)$$

Полные затраты на единицу продукции выпускаемой на новой технике, с учетом переноса на неё недоамортизированной части стоимости старой техники равны

$$Сн_{\ \Delta Аст}(Хн)=Ан_{\ \Delta Аст}+Зн=\frac{Цн+(Xopt\ ст-Хст)а\ ст}{Хн}+Вн+КнХн \qquad (8)$$

Определим минимум полных затрат на единицу продукции – $Cmin\ н_{\ \Delta Аст}$ и оптимальный объем продукции - $Topt\ н_{\ \Delta Аст}$. Для этого, как и в предыдущих расчетах, возьмем производную от функции затрат и приравняем ее к нулю, а затем найдем объем продукции, при котором затраты становятся минимальными

$$(Сн_{\ \Delta Аст}(Хн))'=(А\ н_{\ \Delta Аст}+Зн\ )'=(\frac{Цн+(Xopt\ ст-Хст)*а\ ст}{Хн}+Вн+Кн*Хн\ )'=0$$

$$(\frac{Цн+(Xopt\ ст-Хст)*а\ ст}{Хн}+Вн+КнХн\ )'=-\frac{Цн+(Xopt\ ст-Хст)*а\ ст}{Х^2н}+Кн=0$$

$$Хн=Xopt\ н_{\ \Delta Аст}=\sqrt{\frac{Цн+(Xopt\ ст-Хст)*а\ ст}{Кн}} \qquad (9)$$

Найдем величину амортизационных затрат в единице продукции выпускаемой на старой технике при оптимальном или планируемом сроке ее эксплуатации Тпл=Topt ст, т.е. когда затраты достигают минимума Cmin ст. В этом случае они равны $–а_{ст}=\frac{Цст}{Xopt\ ст}$ (10)

Зная, что оптимальный объем производства равен Хopt ст=$\sqrt{\frac{Цст}{Кст}}$, получим что амортизационные затраты на единицу продукции будут равны –

$$а_{ст}=\frac{Цст}{Xopt\ ст}=\frac{Цст}{\sqrt{\frac{Цст}{Кст}}}=\sqrt{ЦстКст} \qquad (11)$$

Подставим величину найденных амортизационных затрат и оптимального объема производства при планируемом сроке эксплуатации в найденный, оптимальный объем производства при досрочном вводе в эксплуатацию новой техники, получим новое выражение.

$$Xopt\ н\ _{\Delta Аст}=\sqrt{\frac{Цн+(Xopt\ ст-Хст)*а\ ст}{Кн}}=\sqrt{\frac{Цн+(Xopt\ ст-Хст)*\sqrt{Цст*Кст}}{Кн}}=$$

$$=\sqrt{\frac{Цн+(\sqrt{\frac{Цст}{Кст}}-Хст)*\sqrt{Цст*Кст}}{Кн}}=\sqrt{\frac{Цн+Цст-Хст\sqrt{ЦстКст}}{Кн}}$$

таким образом, оптимальный объем производства новой техники, при досрочном вводе ее в эксплуатацию равен

$$Xopt\ н\ _{\Delta Аст}=\sqrt{\frac{Цн+Цст-Хст\sqrt{ЦстКст}}{Кн}} \qquad (12)$$

Найдем минимальную величину полных затрат на единицу продукции выпускаемой на новой технике Сн $_{\Delta Аст}$(Хн)., при досрочном вводе ее в эксплуатацию для смены стареющей техники Для этого подставим найденный оптимальный объем производства Хн=Хopt н $_{\Delta Аст}$ - в формулу определения затрат единицы, выпускаемой продукции, при досрочной смене старой техники-

$$Сн\ _{\Delta Аст(Хн)}=\frac{Цн+(Xopt\ ст-Хст)*а\ ст}{Хн}+Вн+КнХн$$

Предварительно подставим выражения Хopt ст=$\sqrt{\frac{Цст}{Кст}}$ и $а_{ст}=\sqrt{ЦстКст}$

Получим

$$Cmin\ н\ _{\Delta Аст(Хн)}=\frac{Цн+(\sqrt{\frac{Цст}{Кст}}-Хст)*\sqrt{Цст*Кст}}{\sqrt{\frac{Цн+Цст-Хст*\sqrt{Цст*Кст}}{Кн}}}+Вн+Кн*\sqrt{\frac{Цн+Цст-Хст\sqrt{ЦстКст}}{Кн}}$$

Упростим полученное выражение

$$Cmin\ н\ _{\Delta Аст(Хн)}=\frac{(Цн+Цст-Хст\sqrt{ЦстКст})\sqrt{Кн}}{\sqrt{Цн+Цст-Хст\sqrt{ЦстКст}}}+Вн+\sqrt{Кн}\sqrt{Цн+Цст-Хст\sqrt{ЦстКст}}=$$

$$=(\sqrt{Цн+Цст-Хст\sqrt{ЦстКст}})\sqrt{Кн}+Вн+\sqrt{Кн}\sqrt{Цн+Цст-Хст\sqrt{ЦстКст}}=$$

$$=2(\sqrt{Цн+Цст-Хст\sqrt{ЦстКст}})\sqrt{Кн}+Вн$$

таким образом, получим, что минимум затрат на единицу продукции выпускаемой на новой технике при досрочном вводе ее в эксплуатацию равен

$$\text{Cmin н }_{\Delta\text{Aст}}(\text{Xн}) = 2(\sqrt{\text{Цн} + \text{Цст} - \text{Xст}\sqrt{\text{ЦстКст}}})\sqrt{\text{Кн}} + \text{Вн} \qquad (13)$$

Средний темп снижения затрат при досрочном вводе техники в эксплуатацию известен и равен

Темп=(Cmin ст-Cmin н $_{\Delta\text{Aст}}$)/(X ст+Xopt н $_{\Delta\text{Aст}}$)

Подставим в формулу среднего темпа снижения полных затрат значения Cmin ст, Cmin н $_{\Delta\text{Aст}}$, Xopt н $_{\Delta\text{Aст}}$ и получим

$$\text{Темп} = \frac{2\sqrt{\text{ЦстКст}} + \text{Вст} - 2\sqrt{\text{Кн}}\sqrt{\text{Цн} + \text{Цст} - \text{Xст}\sqrt{\text{ЦстКст}}} - \text{Вн}}{\text{Xст} + \sqrt{\dfrac{\text{Цн} + \text{Цст} - \text{Xст}\sqrt{\text{ЦстКст}}}{\text{Кн}}}} \qquad (14)$$

Полученное выражение показывает средний темп снижения затрат при досрочной смене старой техники на новую в любой момент времени эксплуатации старой техники т.е. 0 < Тст < T opt ст, или в любой момент выпуска объема продукции на старой технике 0<Хст< Xopt ст.

Проверим вывод формулы расчета среднего темпа снижения полных затрат для досрочной смены техники. Для этого подставим в формулу (14) время смены стареющей техники равное ее планируемому сроку службы. Т.е. времени, когда стареющая техника достигает своего оптимального срока эксплуатации Хст=X opt ст . В этом случае средний темп выпуска продукции должен быть равным среднему темпу выпуска продукции при плановой смене техники рассчитанном по формуле (4).

Допустим Хст=Xopt ст= $\sqrt{\dfrac{\text{Цст}}{\text{Кст}}}$. Подставим это значение в полученное выражение среднего темпа снижения затрат для досрочной смены техники.

$$\text{Темп(Xopt ст)} = \frac{2\sqrt{\text{ЦстКст}} + \text{Вст} - 2\sqrt{\text{Кн}}\sqrt{\text{Цн} + \text{Цст} - \text{Xст}\sqrt{\text{ЦстКст}}} - \text{Вн}}{\text{Xст} + \sqrt{\dfrac{\text{Цн} + \text{Цст} - \text{Xст}\sqrt{\text{ЦстКст}}}{\text{Кн}}}} =$$

$$= \frac{2\sqrt{\text{ЦстКст}} + \text{Вст} - 2\sqrt{\text{Кн}}\sqrt{\text{Цн} + \text{Цст} - \sqrt{\dfrac{\text{Цст}}{\text{Кст}}}\sqrt{\text{ЦстКст}}} - \text{Вн}}{\sqrt{\dfrac{\text{Цст}}{\text{Кст}}} + \sqrt{\dfrac{\text{Цн} + \text{Цст} - \sqrt{\dfrac{\text{Цст}}{\text{Кст}}}\sqrt{\text{ЦстКст}}}{\text{Кн}}}} =$$

$$= \frac{2\sqrt{\text{ЦстКст}} + \text{Вст} - 2\sqrt{\text{КнЦн}} - \text{Вн}}{\sqrt{\dfrac{\text{Цст}}{\text{Кст}}} + \sqrt{\dfrac{\text{Цн}}{\text{Кн}}}} \qquad (15)$$

В точке планирования Хпл=Хст=Xopt ст= $\sqrt{\dfrac{\text{Цст}}{\text{Кст}}}$ средний темп снижения затрат при досрочной смене техники равен среднему темпу снижения затрат при плановой смене техники. Т.о. формула среднего темпа снижения затрат для досрочной смены станков (14) выведена правильно, так как формула (4) совпадает с формулой (15).

Исследование функции среднего темпа снижения затрат при смене техники Темп (Хст) классическими методами математического анализа не дает достаточного представления о поведении функции на отрезке 0<Хст<Xopt ст.
Функция не является ни четной, ни нечетной. Функция не является периодической, она не имеет асимптот. Функция имеет производную, которую можно приравнять к нулю, чтобы найти Хст, при котором функция имеет минимальное значение. Но при дальнейшем исследовании выясняется, что Хст зависит от постоянных значений параметров Цст, Цн, Вст, Вн, Кст, Кн , а также и от соотношения этих параметров.

Исследование функции среднего темпа снижения затрат при смене техники Темп (Хст) начнем с того, что зададим исходные данные для 5-ти моделей новых идентичных станков, которые могут прийти на смену стареющему станку. Общие исходные данные для всех 5 моделей станков представлены в таблице 2.

Таблица 2

Цн	Кн	qн
руб	руб/ед^2	единиц/год
22000000	0,0001	10 000

Из таблицы следует, что, как и в предыдущем случае, затраты на создание нового станка на 10% больше чем на создание старого станка и равны 2200 000 руб. Годовой объем производства так же не изменился, и равен qн =10 000 единиц в год. Величина коэффициента Кн=0,0001 руб/ед выбрана так, чтобы величина срока службы нового станка с линейной зависимостью изменения переменных затрат была примерно равна сроку службы станка с квадратичной зависимостью переменных затрат.
Как и в предыдущем примере поведение функции Темп(Хст) будем исследовать меняя только одну величину, (один параметр) – Вн, так как и при квадратичной и при линейной зависимости изменения переменных затрат, этот параметр максимально влияет на снижение или возрастание величины затрат на единицу продукции, а следовательно максимально влияет на средний темп снижения полных затрат при смене средств производства. Как и в предыдущем примере, будем предполагать, что в моделях новых станков коэффициент снижения затрат Вн принимает значения пропорциональные коэффициенту снижения затрат на старой технике Вст, например, Вн=0,5Вст, Вн=0,4Вст, Вн=0,3Вст, Вн=0,2Вст, Вн=0,1Вст, Вн=0,05Вст.

Для каждой модели нового станка рассчитаем величину среднего темпа снижения затрат – Темп (Хст) на промежутке времени эксплуатации модели стареющего станка 1год< Тст <(Topt ст= 14,14 лет).

Необходимо отметить, что аналитическое выражение среднего темпа снижения полных затрат Темп(Хст), полученное для линейной зависимости переменных затрат, в виде формулы 14 позволяет избежать промежуточных расчетов минимальных полных затрат Cmin н и сроков их достижения Тн для каждого года смены стареющего станка, которые необходимы для расчетов среднего темпа снижения полных затрат при квадратичной зависимости переменных затрат.

Подставим в формулу 14 значения исходных данных для стареющего станка из таблицы 1 и общие исходные данные для новых станков из таблицы 2. Проведем расчеты величины среднего темпа снижения затрат Темп для первого станка с коэффициентом Вн=0,5Вст. Так как оптимальный срок службы стареющего станка равен 14,14 годам, следовательно, промежуток времени, на котором будет определяться средний темп снижения затрат находится в промежутке времени от 1 года до 14,14 лет эксплуатации стареющего станка. Причем, смена станков от 1 до 13 лет будет считаться досрочной, а последний год эксплуатации является годом планируемой смены. Затем, проведем такие же расчеты для других новых станков с коэффициентами Вн=0,4Вст, Вн=0,3Вст, Вн=0,2Вст, Вн=0,1Вст, Вн=0,05Вст. Результаты расчетов занесем в таблицу 3 и построим график зависимости изменения темпа снижения затрат от срока смены стареющего станка и величины коэффициента снижения затрат нового станка Вн.

Таблица 3

Срок смены Тст	Вн=0,5Вст	Вн=0,4Вст	Вн=0,3Вст	Вн=0,2Вст	Вн=0,1Вст	Вн=0,05Вст
1	2	3	4	5	6	7
1	0,6617090	0,9076194	1,1535298	1,3994402	1,645350588	1,7683058
2	0,6745953	0,9132170	1,1518388	1,3904606	1,629082328	1,7483932
3	0,6875124	0,9193318	1,1511513	1,3829707	1,614790099	1,7306998
4	0,7005116	0,9259724	1,1514332	1,3768940	1,602354730	1,7150851
5	0,7136435	0,9331521	1,1526606	1,3721691	1,591677682	1,7014320
6	0,7269594	0,9408893	1,1548192	1,3687491	1,582679045	1,6896440
7	0,7405117	0,9492078	1,1579039	1,3666000	1,575296062	1,6796441
8	0,7543554	0,9581370	1,1619187	1,3657004	1,569482127	1,6713730
9	0,7685487	0,9677130	1,1668774	1,3660418	1,565206222	1,6647884
10	0,7831544	0,9779790	1,1728036	1,3676282	1,562452804	1,6598651
11	0,7982415	0,9889867	1,1797318	1,3704770	1,561222143	1,6565947
12	0,8138863	1,0007975	1,1877088	1,3746200	1,561531200	1,6549868
13	0,8301751	1,0134851	1,1967951	1,3801051	1,563415099	1,6550701
14,1421	0,8496931	1,0291611	1,2086292	1,3880973	1,567565323	1,6572994

График, так же как и в первом случае, похожий на веер, показан на рисунке 2.

Анализ графика показывает, что если новый станок достигает величины коэффициента снижения затрат Вн=0,5Вст Вн=0,4Вст, Вн=0,3Вст и даже Вн=0,2Вст, то досрочная смена станка стареющего на новый станок не эффективна. Средний темп снижения полных затрат в планируемый срок смены станков выше, чем средний темп снижения полных затрат при досрочной смене станков. В этом случае смена стареющего станка должна быть отложена до времени достижения его планируемой смены, т. е. до времени достижения на нем минимума полных затрат на единицу выпускаемой продукции. В случае если новый станок обладает коэффициентом снижения затрат равным Вн=0,1Вст, Вн=0,05Вст, то досрочная смена станков в любой год их смены экономически целесообразна и эффективна. В этом случае средний темп снижения полных затрат в любой год смены всегда выше чем в год планируемой смены стареющего станка. Как видно, и при квадратичной, и при линейной зависимости изменения переменных затрат на единицу продукции выводы по полученным графикам темпов снижения затрат являются аналогичными. Но при линейной зависимости изменения переменных затрат для того чтобы эффективно сменить стареющее средство производства досрочно т.е. до достижения его планового срока смены, необходим еще более низкий коэффициент снижения затрат Вн для новой техники, чем он был у станка с квадратичной формой зависимости переменных затрат. Коэффициент должен быть равен или быть ниже Вн=0,1Вст, например Вн=0,05Вст. Это означает, что для досрочной смены стареющего станка необходимо достигать еще более значительного сокращения переменных затрат, которые достигают 90-95%. Таким образом, для досрочной смены техники, с хорошей предварительной отработкой, требуется еще более качественная техника, с коэффициентом снижения затрат более низким чем у техники имеющей квадратичную зависимость изменения переменных затрат.

Если рассчитать и построить графики углов наклона средних темпов снижения полных затрат единицы продукции, выпускаемой на станках с линейной зависимостью переменных затрат, то, принципиально, они не будут отличаться от аналогичных графиков построенных для средних темпов снижения полных затрат на единицу продукции, выпускаемой на станках с квадратичной

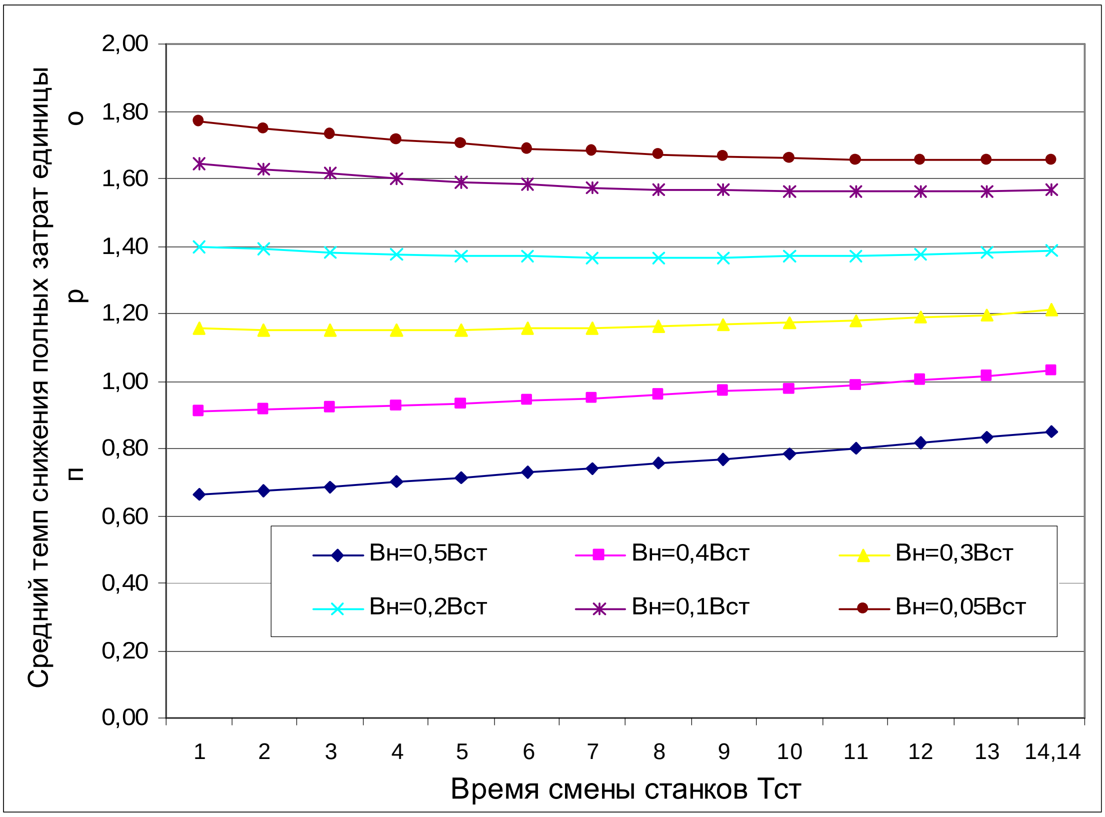

Рисунок 2- Средние темпы снижения полных затрат единицы продукции Темп, выпускаемой на станках с линейной зависимостью изменения переменных затрат в единице продукции

зависимостью изменения переменных затрат.

Построим график среднего темпа снижения затрат при смене стареющего средства производства на новое средство производства в планируемый срок смены (точка планирования). Для стареющего станка исходные данные заданы в таблице 1, для нового станка – в таблице 2, коэффициент снижения переменных затрат нового станка равен Вн=0,5Вст. График показан на рисунке 3.

График, действительно, принципиально не отличается от предыдущих графиков темпов снижения затрат при смене средств производства. Единственное его отличие проявляется в характере функции роста переменных затрат на единицу продукции, которая задана в виде прямой наклонной линии и обозначена Вст+КстХст для старой техники, и Вн+КнХн для новой техники. Определение среднего темпа снижения затрат остается неизменным. **Средний темп снижения затрат на производство единицы продукции равен отношению величины снижения минимальных полных затрат (Δ*Cmin)* на единицу продукции выпускаемой на стареющей и новой техники к сумме сроков службы старой и новой техники (т.е. с начала ввода в эксплуатацию старой техники и до планируемого, оптимального срока окончания службы новой техники)**

$Т_{емп}=\Delta Cmin/(Topt\ ст+Topt\ н)=(Cmin\ ст-Cmin\ н)/(Topt\ ст+Topt\ н)$

Topt ст=*Xopt* ст/$q_{год}$; *Topt* н=*Xopt* н/$q_{год}$, т.о. средний темп снижения затрат можно рассчитать и на единицу времени, и на единицу продукции.

На рисунке 3 величина снижения минимальных затрат (Δ*Cmin*) между полными минимальными затратами на единицу продукции произведенной на старой и новой техники равна Δ*Cmin*=(*Cmin* ст-*Cmin* н)=АБ=ОС

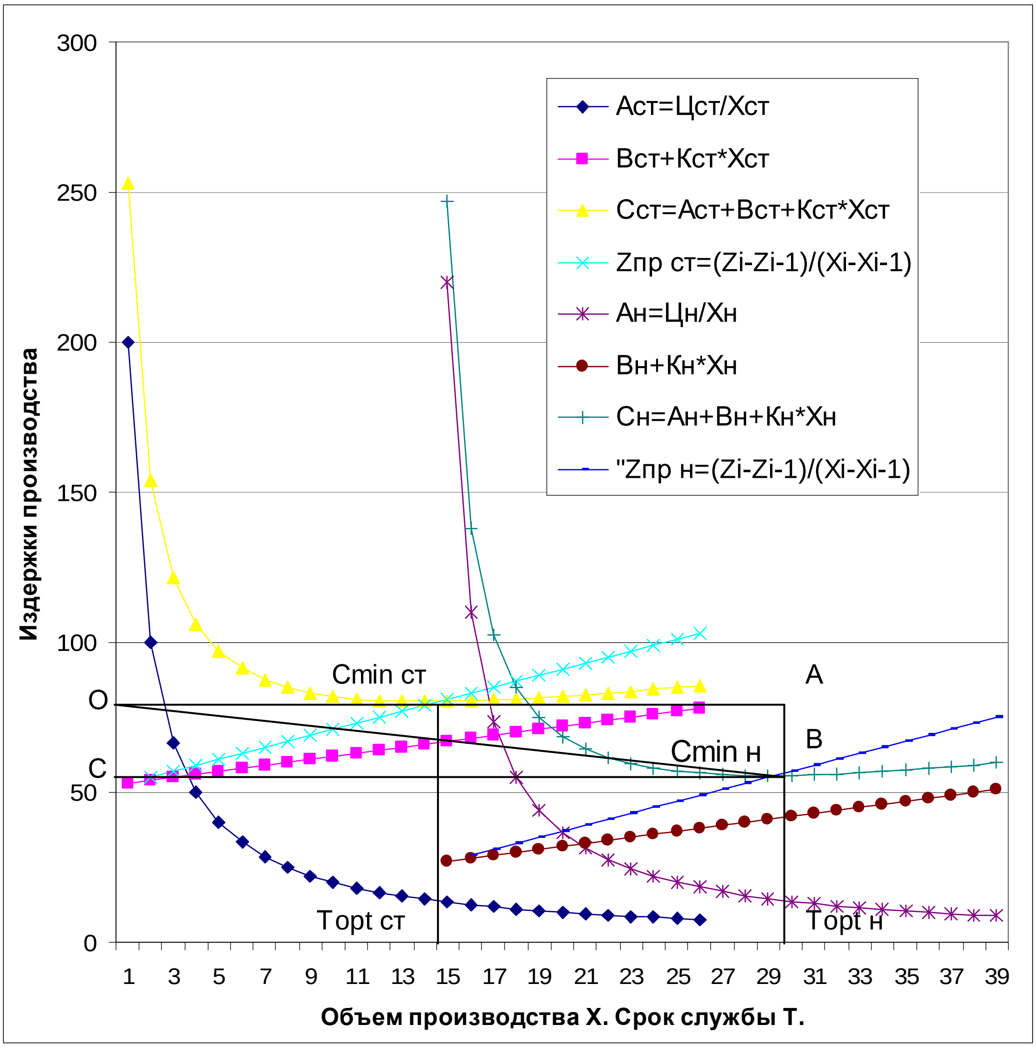

Рисунок 3 - Средний темп снижения затрат в планируемый срок смены стареющего станка с линейной зависимостью изменения переменных затрат и (Вст=52, Вн=0,5Вст=26)

Снижение затрат происходит за период равный оптимальному фактическому сроку эксплуатации старой техники и оптимальному планируемому сроку эксплуатации новой техники - T_{opt} ст+T_{opt} н =ОА. Где $T_{факт}$ ст=T_{opt} ст.

Средний темп снижения затрат показанный на рисунке 3 равен тангенсу угла АОБ, или тангенсу угла ОБС

$$Т_{емп}=tgАОБ=АБ/ОА=(C_{min}\ ст-C_{min}\ н)/(T_{opt}\ ст+T_{opt}\ н)$$

Средний темп снижения затрат рассчитан в момент плановой смены средств производства, в точке C_{min} ст.

Рассчитаем и построим средние темпы снижения затрат в предельных случаях смены станков. Предельными случаями смены станков, как и в предыдущем случае, будем называть смену стареющего станка на новый станок в момент планируемой смены и после первого года эксплуатации сначала с максимальным значением коэффициента снижения переменных затрат, а затем, с минимальным значением коэффициента снижения переменных затрат (Вн).

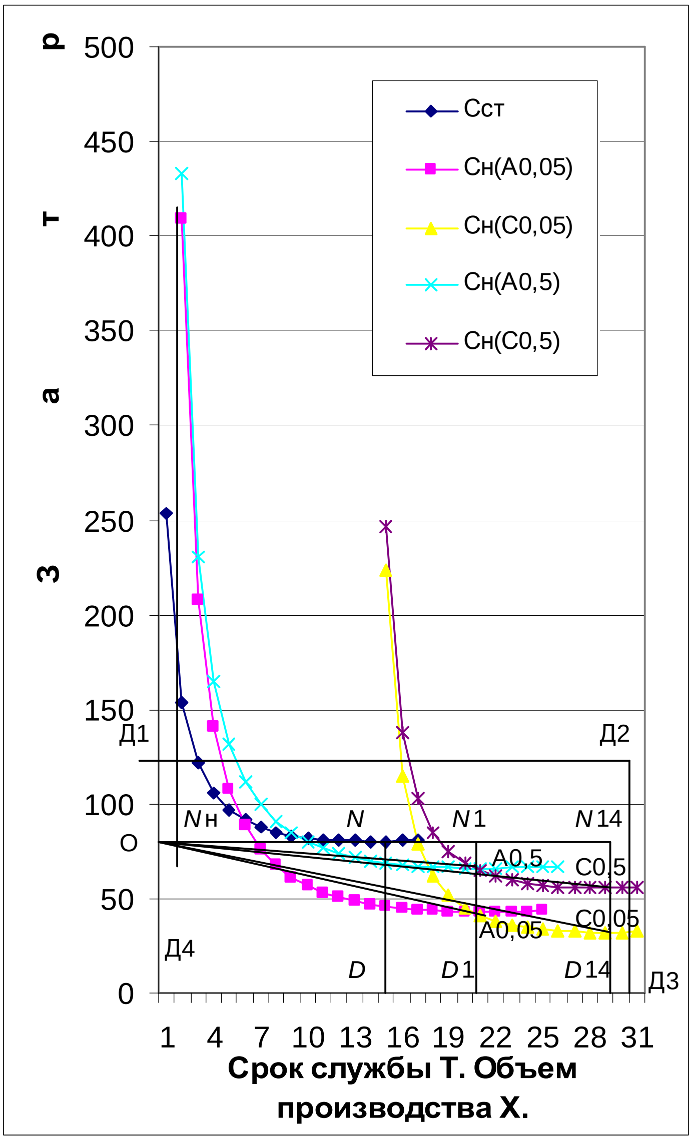

Рисунок 4 – Средние темпы снижения затрат для досрочной смены станков с линейной зависимостью изменения переменных затрат и с коэффициентами снижения переменных затрат на новых станках равных $B_н=0{,}5B_{ст}$ и $B_н=0{,}05B_{ст}$

Найдем углы наклона среднего темпа снижения полных затрат при смене стареющего станка.

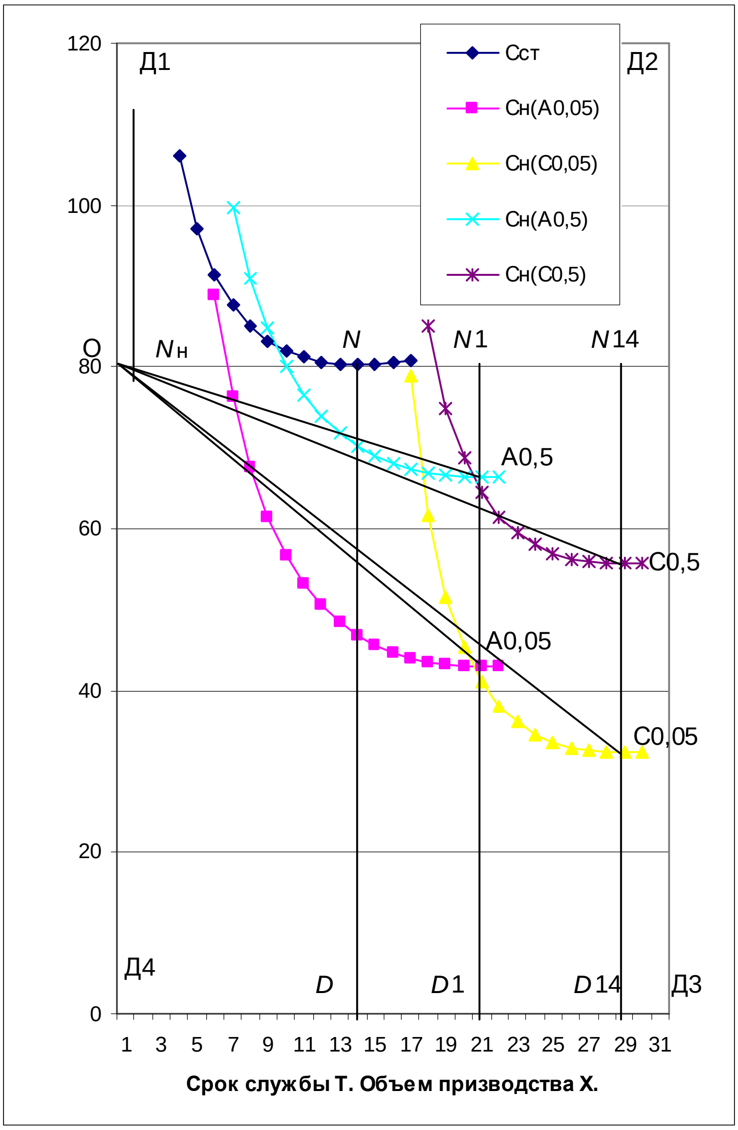

Рисунок 5- Область (д1 д2 д3 д4), выделенная на рисунке 4.

Как и в предыдущем примере, параметры стареющего станка остаются всегда одни и те же. Они заданы в таблице 1.

Рассчитаем и покажем на рисунке 4 и, более подробно, на рисунке 5 средний темп снижения полных затрат для 4 случаев:

1. Смена стареющего станка в планируемый срок *Т*факт ст=*Topt* ст.= O*N*=14,14 лет на новый станок имеющий коэффициент снижения переменных затрат Вн=0,5Вст. Для определения минимальных величин *Cmin* ст, *Cmin* н, *Topt* ст, *Topt* н не обязательно проводить расчет , подставляя в выражение полных затрат на единицу продукции $\mathrm{C} = \frac{\mathrm{Цст}}{\mathrm{Хст}} + \mathrm{Вст} + \mathrm{Кст} * \mathrm{X}$ величину объема производства Х от 10 000 до 150 000, как это было в предыдущем случае, где переменные затраты были заданы квадратичной функцией. Для нахождения указанных величин в случае, когда переменные затраты заданы линейной зависимостью,

можно использовать ранее выведенные формулы (2), (3), которые дают более точные результаты чем решение в численном виде.

$Хст = Xopt = \sqrt{\frac{Ц}{К}}$; $C\min = 2\sqrt{ЦК} + В$. Оптимальный объем производства на новом станке равен $Хн = Xopt = \sqrt{\frac{2200000}{0{,}0001}} = 148323$ ед. Оптимальное время производства

Тн =Хн /q н=148323/10 000=14,8323 лет. =NN_{14}

Минимальные затраты на единицу продукции выпускаемой на новом станке $C\min н = 2\sqrt{ЦнКн} + Вн = 2\sqrt{2200000 \times 0{,}0001} + 26 = 55{,}6647$ =$C0{,}5\,D_{14}$

Средний темп снижения полных затрат можно рассчитать по исходной формуле $Т_{емп}$=(*Cmin* ст-*Cmin* н)/(*Topt* ст+*Topt* н) в графическом виде на рисунках 4 и 5 $Т_{емп}$= tg$\angle C_{0,5}ON_{14}$= (N14D14- C0,5D14)/(ON+NN14)=
=N14D0,5/ON14=0,8497 руб./ед.^{2}

Где для стареющего станка Cmin ст =*ND*= *N1D1* =*N14D14*= 80,28руб/ед.;
Точно такие же результаты можно получить из формулы (14)

$$Темп = \frac{2\sqrt{ЦстКст} + Вст - 2\sqrt{Кн}\sqrt{Цн + Цст - Хст\sqrt{ЦстКст}} - Вн}{Хст + \sqrt{\frac{Цн + Цст - Хст\sqrt{ЦстКст}}{Кн}}}$$

и из формулы (15) $$Темп = \frac{2\sqrt{ЦстКст} + Вст - 2\sqrt{КнЦн} - Вн}{\sqrt{\frac{Цст}{Кст}} + \sqrt{\frac{Цн}{Кн}}}.$$

Угол снижения среднего темпа затрат равен углу $C_{0,5}ON_{14}$.

2. Досрочная смена стареющего станка производится через 1 год его эксплуатации *Т*факт ст=1год.=ОNн. Или Хфактст=10 000 ед. Новый станок имеет прежний коэффициент снижения переменных затрат Вн=0,5Вст. При досрочной смене часть стоимости старого станка должна переноситься на затраты производства нового станка. Оптимальный объем производства на новом станке равен по формуле (12) Xopt н $\Delta Аст = \sqrt{\frac{Цн + Цст - Хст\sqrt{ЦстКст}}{Кн}} =$

$$= \sqrt{\frac{2\,200\,000 + 2\,000\,000 - 10\,000\sqrt{2\,000\,000 \cdot 0{,}0001}}{0{,}0001}} = 201459{,}1433 \text{ ед.}$$

Срок эксплуатации нового станка равен Topt н $\Delta Аст$ =20,1459 лет.=NнN1

Минимальные затраты на единицу продукции выпускаемой на новом станке с учетом переноса недоамортизированных затрат старого станка рассчитываются по формуле (13)

$$Cmin\ н\ \Delta Аст(Хст) = 2\left(\sqrt{Цн + Цст - Хст\sqrt{ЦстКст}}\right)\sqrt{Кн} + Вн =$$

$$2\left(\sqrt{2\,200\,000 + 2\,000\,000 - 10\,000\sqrt{2\,000\,000 \cdot 0{,}0001}}\right)\sqrt{0{,}0001} + 26 = 66{,}2918 \text{ руб} = A0{,}5D1$$

Средний темп снижения полных затрат равен
$Т_{емп}$=(*Cmin* ст-*Cmin* н $\Delta Аст$)/(*Topt* ст+*Topt* н $\Delta Аст$)=
tg$\angle A_{0,5}ON_1$ =(N_1D_1-$A_{0,5}D_1$)/(ON+NN_1)=
=(80,2842-66,2918)/(1+20,1459)=0,6617 руб./год^2 .

Результат сравнения темпов снижения затрат полученных в планируемый срок и в момент досрочной смены стареющего станка на новый станок с Вн=0,5Вст, как и в предыдущем случае, показывает, что линия темпа снижения полных затрат $OC_{0,5}$ образующаяся при смене станков в планируемый срок расположена ниже линии темпа снижения полных затрат $OA_{0,5}$, которая образуется при смене стареющего станка после 1-ого года его эксплуатации. Это означает, что досрочная смена станков экономически не целесообразна. Причины не изменяются. В планируемый срок смены станков темп снижения затрат выше, чем в момент досрочной смены.

3. Смена стареющего станка в планируемый срок равный *Т*факт ст=*Topt* ст.= =О*N*=14,1421 лет на новый станок, имеющий коэффициент снижения переменных затрат Вн=0,05Вст.

Для стареющего станка величины Cmin ст =*ND*= *N1D1* =*N14D14*= 80,28 руб. остаются прежними;

Для нового станка $\text{Xopt н} = \sqrt{\frac{\text{Цн}}{\text{Кн}}} = \sqrt{\frac{2\ 200\ 000}{0{,}0001}} = 148323{,}9697$ ед. или

Topt н=14,8323 лет.= *NN*14;

$\text{C min н} = 2\sqrt{\text{ЦнКн}} + \text{Вн} = 2\sqrt{2\ 200\ 000 \cdot 0{,}0001} + 2{,}6$ =32,2647 руб./ед.=С0,05*N*14;

Средний темп снижения полных затрат равен

Темп=(*Cmin* ст-*Cmin* н)/(*Topt* ст+*Topt* н)=

$\text{tg}\angle C_{0,05}ON_{14}$ =($N_{14}D_{14}$-$C_{0,05}D_{14}$)/(О*N*+NN_1) =

(80,2842-32,2647)/(14,1421+14,8323) =48,095/28,9744=1,6573 руб./год^2.

4. Досрочная смена стареющего станка, через 1 год его эксплуатации. *Т*факт ст=1год=О*N*н, или Хфактст=10 000 ед. Новый станок имеет коэффициент снижения переменных затрат равный Вн=0,05Вст. Оптимальный объем производства на новом станке с учетом переноса стоимости стареющего станка равен $\text{Xopt н}_{\Delta\text{Аст}} = \sqrt{\frac{\text{Цн} + \text{Цст} - \text{Хст}\sqrt{\text{ЦстКст}}}{\text{Кн}}} =$

$$= \sqrt{\frac{2\ 200\ 000 + 2\ 000\ 000 - 10\ 000\sqrt{2\ 000\ 000 * 0{,}0001}}{0{,}0001}} = 201459{,}1433 \text{ ед.}$$

Срок его эксплуатации равен $\text{Topt н}_{\Delta\text{Аст}}$ =20,1459 лет.=*N*н*N*1

Минимальные затраты на единицу продукции выпускаемой на новом станке с учетом переноса недоамортизированных затрат старого станка рассчитываются по формуле (13)

$$\text{Cmin н}_{\Delta\text{Аст}}(\text{Хн}) = 2(\sqrt{\text{Цн} + \text{Цст} - \text{Хст}\sqrt{\text{ЦстКст}}})\sqrt{\text{Кн}} + \text{Вн} =$$

$$2(\sqrt{2\ 200\ 000 + 2\ 000\ 000 - 10\ 000\sqrt{2\ 000\ 000 * 0{,}0001}})\sqrt{0{,}0001} + 2{,}6 = 42{,}891828 \text{ руб.=}$$

=А0,05*D*14

Средний темп снижения полных затрат равен

Темп=(*Cmin* ст-*Cmin* н $_{\Delta\text{Аст}}$)/(*Topt* ст+*Topt* н $_{\Delta\text{Аст}}$)=

$\text{tg}\angle A_{0,05}ON_1$ =(N_1D_1-$A_{0,05}D_1$)/(О*N*+NN_1)=

= (80,2842-42,891828)/(1+20,1459)= 1,76831 руб/год^2

Сравнение темпов снижения затрат полученных в планируемый срок и в момент досрочной смены стареющего станка на новый станок с коэффициентом снижения затрат в 10 раз ниже чем у стареющего станка Вн=0,05Вст, показывает, что линия темпа снижения полных затрат $OC_{0,05}$ образующаяся при смене станков в планируемый срок располагается не ниже, а выше линии темпа снижения полных затрат $OA_{00,5}$, при смене стареющего станка после 1 ого года эксплуатации. Это означает, что досрочная смена стала выгодна и эффективна. Если такая техника появляется, то ее можно вводить в самые ранние сроки эксплуатации стареющей техники. Как и в первой части статьи, этот вывод не противоречит тому, что минимум затрат на единицу продукции C_{min} н $=A_{0,05}D_1$ при досрочной смене станков больше чем минимум затрат C_{min} н$=C_{0,05}D_{14}$ на единицу продукции при планируемой смене т.е. $A_{0,05}D_1>C_{0,05}D_{14}$. Ко времени достижения минимума затрат при досрочной смене станков (точка $A_{0,05}$ на рисунках 4,5) возможно появления новой еще более совершенной техники, третьего поколения, которая еще более снизит затраты на единицу выпускаемой продукции и ко времени достижения минимальных затрат определяемых планируемой сменой станков (точка $C_{0,05}$ на рисунках 4 и 5) затраты окажутся ниже чем минимальные затраты на единицу продукции равные C_{min} н $=C_{0,05}D_1$.

Это совпадает и подтверждает выводы сделанные для техники с квадратичной зависимостью изменения переменных затрат.

Сравнение 4-х графиков средних темпов снижения полных затрат (см. рисунок 2), для техники с линейной зависимостью изменения переменных затрат, показывает, что только тогда, средний темп снижения полных затрат при досрочной смене (Темп доср) становится выше среднего темпа снижения полных затрат при смене техники в планируемый срок(Темп план), когда значение постоянного коэффициента снижения затрат становится равным Вн=0,1Вст, т.е. становится в 10 раз ниже, чем коэффициент Вст.

Для техники с квадратичной зависимостью снижения переменных затрат [3] средний темп снижения полных затрат для досрочной смены (Темп доср) становится выше темпа снижения полных затрат для планируемой смены (Темп план) тогда , когда постоянный коэффициент снижения затрат становится равным Вн=0,4Вст Таким образом, для экономически эффективной досрочной смены техники с линейной зависимостью её постоянный коэффициент снижения переменных затрат должен быть в 4 раза ниже, чем у техники с квадратичной зависимостью снижения переменных затрат. Это говорит, что технику с хорошей предварительной отработкой сменить гораздо труднее, чем технику не имеющей такой отработки.

Список использованных источников:

1.Новожилов В.В. Методы определения оптимальных сроков службы средств труда. Ленинградский инженерно-экономический институт. Труды Вып.44.

2. Когут А.Е., Новожилов В.И. Выбор экономичных параметров машин при конструировании. Ленинград. «Машиностроение» 1974 г.

3. Кликушин С.Н. Определение оптимального времени досрочной смены морально стареющих средств производства. Часть 1. (Моделирование процесса

изменения переменных затрат квадратичной функцией $З = \frac{1}{n} \times (X - M)^2 + B)$ // Российский экономический интернет-журнал.- 2002-