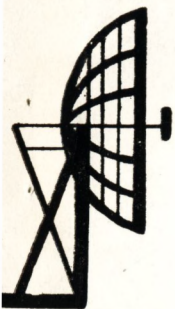




БИБЛИОТЕКА ИНЖЕНЕРА ПО НАДЕЖНОСТИ



Р. Н. КОЛЕГАЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ОПТИМАЛЬНОЙ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ

• СОВЕТСКОЕ РАДИО •

Р. Н. КОЛЕГАЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ОПТИМАЛЬНОЙ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«СОВЕТСКОЕ РАДИО»
МОСКВА — 1967

В книге на примере машин излагается новый метод определения оптимальной долговечности технических систем с учетом одновременного влияния материального и морального износа. Предлагаемый метод благодаря своей простоте доступен для широкого практического использования и вместе с тем обеспечивает большую точность конечных результатов.

Теоретические и методические исследования, результаты которых освещаются, подкреплены конкретными примерами расчета оптимальной долговечности нескольких видов машин. При этом использован значительный фактический материал по их эксплуатации в различных отраслях народного хозяйства.

Показано, что предлагаемый метод определения оптимальной долговечности может быть использован практически применительно к любым техническим системам, за исключением тех, долговечность которых обуславливается не экономическими факторами.

Книга предназначена для широкого круга инженерно-технических работников и экономистов различных отраслей народного хозяйства, научных работников, а также может быть рекомендована студентам технических и экономических вузов.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Б. В. Гнеденко (отв. редактор), Б. Е. Бердичевский, И. Н. Коваленко, И. В. Крагельский, В. А. Кузнецов, А. В. Майоров, И. И. Морозов, Е. Ю. Намиот, О. Ф. Пославский, Д. Н. Решетов, А. Д. Соловьев, Я. М. Сорин, Р. Б. Улинич, Н. А. Шишонок, Я. Б. Шор (зам. отв. редактора).

ВВЕДЕНИЕ

В Директивах XXIII съезда КПСС по Пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 годы указывается, что одной из основных задач промышленности является повышение эффективности производства, предусматривается увеличение объема промышленной продукции более чем в 1,5 раза, а прибыль в промышленности намечено увеличить к концу пятилетия более чем вдвое*.

Одним из неперемennых условий для обеспечения выполнения этих указаний нашей партии является необходимость установления на строгой научной основе оптимальной (наилучшей) долговечности техники, так как уровень эффективности ее работы, а следовательно, и эффективности работы предприятия, отрасли и в целом промышленности, при прочих равных условиях, самым непосредственным образом зависит от амортизационных сроков службы, установленных для техники.

К сожалению, оптимальные с народнохозяйственной точки зрения амортизационные сроки службы техники до сего времени в подавляющем большинстве случаев даже еще не определены, а это значит, что в данном вопросе вместо научного подхода иногда господствует субъективизм.

Как было подчеркнуто на сентябрьском Пленуме ЦК КПСС (1965 г.) «...для ориентации предприятия на повышение эффективности производства наилучшим образом будет служить показатель прибыли, рентабельности. Размер прибыли в значительной степени характеризует вклад каждого предприятия в чистый доход страны, направляемый на расширение производства и улучшение благосостояния народа».

«Государство заинтересовано в том, чтобы постоянно увеличивать накопления не только за счет снижения себестоимости каждой единицы продукции, но и за счет

* «Директивы XXIII съезда КПСС по Пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 гг.» Политиздат, 1966.

увеличения количества производимой продукции, расширения и обновления ассортимента, повышения качества изделий. Прибыль, в отличие от себестоимости, более полно отражает все эти стороны производственной деятельности предприятия. Важно при этом учитывать не только размеры и прирост прибыли, но и уровень рентабельности, то есть знать, сколько прибыли получено на каждый рубль производственных фондов»*.

Совершенно очевидно, что наибольшая рентабельность предприятия может быть достигнута только в том случае, если каждое его производственное подразделение будет работать также с наибольшей рентабельностью.

Не может сложиться такое положение, при котором часть подразделений предприятия (пусть даже небольшая!) работает неэффективно или не с максимально возможным эффектом, а предприятие в целом работает с наибольшей возможной эффективностью.

Если не соблюдается закон социалистического хозяйствования — добиваться наибольших результатов при наименьших затратах, записанный в Программе нашей партии, хотя бы для небольшой части предприятий отрасли промышленности или по некоторым отраслям народного хозяйства, то и в целом полученные результаты не будут соответствовать наилучшим из возможных.

Конечно, нельзя предположить, что каждое, даже самое мелкое подразделение в промышленности, вплоть до участка или отдельной единицы оборудования, будут работать с максимально возможной на данном этапе эффективностью, однако ориентироваться на достижение наилучшей эффективности необходимо.

Таким образом, для того чтобы обеспечивались оптимальные результаты работы на участке, в цехе, на предприятии, в отрасли и в целом по народному хозяйству, каждая единица оборудования, каждая машина должны работать с максимальной отдачей при наименьших затратах.

Незнание, а отсюда и несоблюдение оптимального срока службы машин фактически означают нарушение

* А. Н. Косыгин. Об улучшении управления промышленностью, совершенствовании планирования и усилении экономического стимулирования промышленного производства. Доклад на Пленуме ЦК КПСС 27 сентября 1965 г. Политиздат, 1965, стр. 22—23.

этого закона социалистического хозяйствования в использовании основных фондов.

На наш взгляд, совершенно справедливо отмечает проф. Е. Г. Либерман, что достижение рентабельности на каждом отдельном предприятии является локальным оптимумом в его деятельности и что выполнение этого локального оптимума на каждом предприятии гарантирует выполнение и национального оптимума [25].

В такой же мере это можно отнести и к производственным подразделениям предприятия, вплоть до участка или отдельной единицы оборудования, и здесь выполнение каждого локального оптимума будет гарантировать совокупный оптимум работы.

Все это указывает на то, что в качестве критерия оптимальности при установлении долговечности машин может быть также принято достижение наибольшей рентабельности использования машины за амортизационный срок ее службы.

Иными словами, оценка эффективности работы отдельной машины должна производиться в принципе на той же основе, что и работы отдельного производственного подразделения в промышленности, начиная от производственного участка и кончая отраслью.

В данной книге сделана попытка именно с этих позиций разработать методику определения оптимальной долговечности машин, т. е. установления такого срока службы машины, при котором будет обеспечиваться наибольшая рентабельность ее использования.

Для определения изменения уровня рентабельности работы машины необходимо располагать данными об изменении себестоимости единицы продукции или работы машины, а также о величине производственных фондов, потребных для обеспечения данного срока службы машины. В связи с этим в работе значительное внимание уделено исследованию изменения величины себестоимости и производственных фондов в функции срока службы машины.

После сентябрьского Пленума ЦК КПСС (1965 г.) в соответствии с новым Положением о социалистическом государственном производственном предприятии вопрос о целесообразности проведения ремонта или замены оборудования, машин и механизмов должен решаться непосредственно самим предприятием.

Разумеется, должны существовать нормативные амортизационные сроки службы машин. Но, как хорошо известно из практики, никакие нормативы, даже дифференцированные в зависимости от условий эксплуатации, не могут учесть всего многообразия факторов, влияющих на оптимальный срок службы машины. Поэтому вопрос о замене оборудования предприятия должны решать на основе строгих научных расчетов, учитывающих всю специфику работы оборудования в данных конкретных условиях.

Нельзя допускать, чтобы машина, списание которой более эффективно, чем ремонт, все-таки ремонтировалась, так как она не прослужила установленного нормативного срока службы, и, наоборот, машина, ремонт которой более эффективен, чем списание, все-таки, в соответствии с инструкцией, списывалась как уже прослужившая установленное ей время.

Это означает, что само предприятие должно уметь определять экономически оптимальные для данных условий эксплуатации сроки службы машин, используемых на данном предприятии.

Существующие методы определения оптимальной долговечности машин обладают рядом методических ошибок и неточностей, довольно сложны для практического применения.

Кроме того, существующие методы определения оптимальной долговечности машин с учетом одновременного влияния материального и морального износа или очень сложны, если они конкретны, или же сводятся к общим рассуждениям, которые нельзя использовать для конкретного расчета.

В связи с этим автором сделана попытка создать такую методику установления оптимальной долговечности машин, которая совмещала бы в себе максимально возможную простоту с достаточно высокой точностью конечных результатов, т. е. методику, доступную для широкого практического использования.

Теоретические и методические положения излагаются в работе применительно к машинам. Расчеты оптимальной долговечности сделаны также на примере нескольких видов машин, применяемых в различных отраслях народного хозяйства. Несмотря на это, принципиальные положения предлагаемого циклового метода определе-

ния оптимальной долговечности могут быть использованы и для других видов технических систем*, от самых простых до самых сложных, включая электронные вычислительные машины и другие электронные устройства.

Однако в связи с тем, что изменение расходов по эксплуатации немеханических систем (например, радиоэлектронных устройств) в функции их срока службы еще до сего времени не исследовано, автор не считал возможным при изложении методической части работы оперировать обобщающим понятием — технические системы.

Справедливость предлагаемой методики для машин была проверена на ряде конкретных примеров с использованием фактических данных. В то же время оказалось совершенно невозможным рассчитать оптимальную долговечность, например, электронных вычислительных машин или других электронных устройств из-за отсутствия необходимых статистических данных. Однако, как свидетельствуют материалы, приведенные в последней главе настоящей книги, возможность использования предлагаемой методики для определения оптимальной долговечности не только машин, но и радиоэлектронных устройств практически не вызывает сомнений, что и позволяет считать возможным ее применение для любых восстанавливаемых технических систем. Разумеется, за исключением тех, срок службы которых обуславливается неэкономическими факторами, например соображениями безопасности, необходимостью обеспечения определенной вероятности безотказной работы и т. п.

Автор не претендует на исчерпывающее освещение всех затронутых в книге вопросов и с благодарностью примет все замечания и пожелания читателей.

Пользуясь случаем, автор выражает свою признательность канд. техн. наук, доц. М. В. Бунину и инженеру-экономисту К. И. Мельниковой за помощь, оказанную при редактировании и оформлении рукописи, а также проф. Л. Я. Шухгальтеру и канд. эконом. наук В. П. Панову за ценные замечания, сделанные при рецензировании.

* Согласно рекомендациям Комитета научно-технической терминологии Академии Наук СССР под технической системой понимается совокупность совместно действующих объектов, которая предназначена для самостоятельного выполнения заданных функций.

О ПРИМЕНЯЕМОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ

В связи с тем, что терминология, применяемая при установлении оптимальной долговечности изделий, до настоящего времени еще окончательно не установилась, коротко остановимся на тех понятиях, терминах и измерителях, которые будут использоваться в данной работе.

Долговечность — это свойство изделия сохранять работоспособность (с возможными перерывами для технического обслуживания и ремонтов) до разрушения или другого предельного состояния.

Под изделием здесь понимаются любая самая сложная система, отдельно взятое изделие, их элементы.

Предельное состояние изделия может устанавливаться по изменениям параметров, по условиям безопасности, по экономическим показателям и т. п. [31, стр. 9].

В литературе довольно широко применяются также такие термины как: долговечность машины до первого капитального ремонта; долговечность машины между двумя ремонтами и т. п. По нашему мнению, практическое использование этих терминов вместо обычных («межремонтный цикл» или «цикл эксплуатации») только ведет к запутыванию существа вопроса о долговечности машин.

Количественно долговечность изделия оценивается суммарной продолжительностью времени эксплуатации (технический ресурс), объемом продукции или работы, произведенной за период эксплуатации до разрушения или другого предельного состояния. Иными словами, количественным показателем долговечности изделия может служить срок его службы до указанного выше предельного состояния [49, лекция 1, стр. 13].

Согласно терминологии, разработанной Комитетом научно-технической терминологии Академии Наук СССР и Комитетом контроля качества продукции ВСНТО, под сроком службы изделия понимается календарная продолжительность его эксплуатации до разрушения или другого предельного состояния [31, стр. 10].

Срок службы любого изделия наряду с календарным временем измеряется количеством произведенной с помощью этого изделия продукции (работы). Параллельное существование этих количественных измерителей вполне допустимо и не вызывает никаких противоречий. Напротив, дополняя друг друга, они позволяют более полно характеризовать срок службы изделия.

Однако дело не только и не столько в допустимости параллельного существования этих измерителей, но и в том, что обоими этими измерителями непременно приходится практически пользоваться при установлении оптимальной долговечности изделия.

В соответствии с изложенным в настоящей книге срок службы машин измеряется в календарном времени и в количестве произведенной продукции (работы).

Для подавляющего большинства машин, используемых в народном хозяйстве, предельное состояние практически устанавливается, исходя из экономических соображений.

Действительно, при современном уровне ремонтной техники, длительность эксплуатации машин может быть практически величиной неограниченной, если не считаться с экономическими соображениями*. Периодическое восстановление путем ремонта отдельных деталей, составляющих машину, или замена износившихся деталей новыми создают возможность практически неограниченно преодолевать срок службы машин.

Хорошо известны из практики примеры весьма длительной эксплуатации некоторых машин, что объясняется во многих случаях не высоким качеством их изготов-

* Следует, однако, иметь в виду, что это утверждение верно только по отношению к машине в целом. Для отдельной детали существует вполне определенная величина долговечности до разрушения или предельного износа, и эту величину долговечности нужно знать для каждой детали. Но переносить механически это понятие от детали к машине — неправомерно.

ления (высокой долговечностью) или особо бережным обращением, а главным образом невозможностью по каким-то причинам заменить их новыми.

Но увеличение долговечности машин — не самоцель, а средство снижения затрат живого и прошлого труда на единицу продукции или работы, осуществляемой с их помощью. Поэтому для всех машин, равно как и для всех орудий и продуктов труда, должны быть установлены наиболее экономически эффективные пределы их сроков службы, т. е. установлена экономически оптимальная долговечность.

Установление таких пределов продолжительности эксплуатации машины, при которых обеспечивается ее наиболее эффективное использование за весь период эксплуатации, и является задачей установления оптимальной долговечности данной машины.

Необходимость ограничения срока службы машин обусловливается их материальным и моральным износом. Следовательно, *оптимальная долговечность машины измеряется экономически наивыгоднейшим сроком ее службы, ограниченным одновременным влиянием материального и морального износа.*

Однако при определении оптимальной долговечности машин, подавляющее большинство авторов работ в этой области, в том числе и автор этих строк, различают еще экономически оптимальный срок службы по материальному износу, т. е. срок службы, рассчитанный без учета влияния морального износа, как определение оптимальной долговечности в первом приближении. В соответствии с этим в данной работе будет также использоваться термин «оптимальный срок службы машины по материальному износу».

Для установления оптимального срока службы с учетом одновременного влияния материального и морального износа срок службы машины по материальному износу подвергается корректировке в сторону уменьшения, так как влияние морального износа, как будет показано ниже, выражается практически в сокращении долговечности машин, но никак не в увеличении*.

Такой поэтапный подход несколько облегчает решение этой весьма сложной задачи.

* Более подробно этот вопрос освещен в гл. VI настоящей работы.

Кроме того, понятие «оптимальный срок службы машины по материальному износу» имеет и самостоятельное значение, так как позволяет найти наилучшее соотношение между затратами на изготовление и эксплуатацию данной машины, дифференцированно оценить влияние материального и морального износа на долговечность и т. п. Все это показывает, что такое разграничение понятия оптимальной долговечности является рациональным.

Глава II

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СУЩНОСТЬ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАШИН

Обобщение существующих методов определения оптимальной долговечности машин показало, что подавляющее большинство отечественных и зарубежных авторов под оптимальной долговечностью машины по материальному износу понимают такой срок ее службы, при котором затраты на ее использование (затраты на приобретение и капитальный ремонт, а также эксплуатационные расходы) за весь период эксплуатации, отнесенные на единицу произведенной продукции (работы), будут минимальными * [20]. Иными словами, в качестве критерия оптимальности здесь принимается достижение минимальной себестоимости единицы продукции (работы), произведенной с помощью данной машины за весь ее амортизационный срок службы.

Наибольшее распространение получила методика определения оптимального срока службы машин по материальному износу, принципиальную сущность которой можно уяснить из рис. 1.

* Как будет показано ниже, достижение минимальной себестоимости единицы продукции (работы) еще не является достаточным условием для того, чтобы считать этот срок службы машины экономически оптимальным. Хотя здесь и применяется термин «оптимальная долговечность», но следует помнить, что в данном случае он носит условный характер. Практический смысл рассматриваемой методики состоит в том, что она определяет верхнюю границу долговечности, выше которой использование машины, безусловно, неэффективно (см. гл. V).

Условимся в дальнейшем эту методику называть общепринятой, не забывая, однако, о том, что в последнее время появились и другие, имеющие некоторое отличие, методы.

На рис. 1 представлен характер изменения себестоимости единицы продукции (работы) машины по отдель-

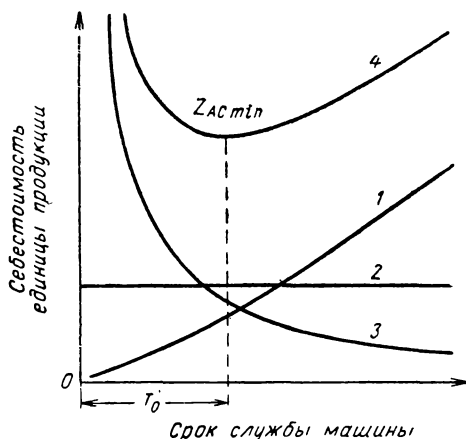


Рис. 1. Изменение себестоимости единицы продукции (работы) в зависимости от срока службы машины:

1 — удельные эксплуатационные расходы, возрастающие с увеличением срока службы машины; 2 — удельные эксплуатационные расходы, неизменяющиеся с увеличением срока службы машины; 3 — удельные амортизационные отчисления на восстановление; 4 — себестоимость единицы продукции (работы) по сумме всех затрат.

ным статьям и группам статей, ее составляющих, в зависимости от изменения амортизационного срока службы.

Удельные амортизационные отчисления на реновацию (восстановление), как известно, с увеличением срока службы машины уменьшаются по гиперболическому закону (кривая 3). Такой характер кривой 3 объясняется тем, что сумма затрат на приобретение машины распределяется на все большее количество произведенной от начала ее эксплуатации продукции (работы). Если, конечно, брать рассчитанные для каждого данного срока службы машины удельные амортизационные отчисления, а не их неизменяющуюся величину, установленную исходя из какого-то определенного, заранее заданного нормативного срока службы для машин данного вида.

Некоторые статьи себестоимости (также исчисленные по фактически имеющим место расходам, а не по равновеликим нормативам), такие, как, например, удельные амортизационные отчисления на капитальный и средний ремонт, удельные расходы на текущий ремонт (включая все виды ремонтов, кроме средних и капитальных), удельный расход энергоматериалов (топлива, электроэнергии), а также убытки, имеющие место в связи с нарастанием простоев с увеличением срока службы машины, возрастают (кривая 1).

Возрастание некоторых видов удельных эксплуатационных расходов с увеличением возраста машин подтверждается данными многочисленных исследований, проведенных отечественными и зарубежными авторами, и в настоящее время не вызывает сомнений.

Другие статьи, составляющие удельные эксплуатационные расходы, как, например, величина основной заработной платы, приходящаяся на единицу произведенной продукции или работы (имея в виду, конечно, неизменные расценки), остаются практически постоянными независимо от срока службы машины. Суммарная величина удельных расходов по этим статьям себестоимости представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс (прямая 2).

Если теперь графически или аналитически просуммировать кривые 1—3, то будет получена кривая 4, представляющая собой изменение себестоимости единицы продукции (работы) по сумме всех затрат.

Каждому данному сроку службы машины соответствует точка кривой 4, представляющая собой среднюю величину себестоимости единицы продукции (работы) за каждый данный срок службы машины от начала ее эксплуатации до предполагаемого момента ликвидации.

Себестоимость единицы продукции (работы) определяется как частное от деления накопленной суммы всех расходов за любой данный срок службы машины, связанных с использованием и приобретением машины, за вычетом ликвидационной ее стоимости, на накопленное количество произведенной за этот же период продукции (работы). Принципиально аналогичным путем рассчитываются и отдельные составляющие себестоимости, т. е. удельные затраты по отдельным статьям.

Как наглядно видно из рис. 1, себестоимость единицы продукции (работы) (кривая 4) не остается постоянной, а существенно изменяется в зависимости от амортизационного срока службы машины. В начальный период эксплуатации машины себестоимость снижается, достигая минимального значения $Z_{AC\ min}$, после чего начинает возрастать.

Следовательно, амортизационный срок службы машины может быть выбран таким, чтобы он соответствовал получению наиболее низкой себестоимости.

При рассмотрении рис. 1 может возникнуть вопрос: почему достижение максимального значения себестоимости является сигналом к выводу из эксплуатации и замене данной машины новой? Казалось бы, трудные времена, когда суммарные издержки были особенно высоки, пройдены и необходимо использовать достигнутый минимум даже при относительно небольшом его дальнейшем повышении, однако приходится заменять машину, т. е. снова возвращаться к периоду с высокими суммарными издержками. Но такое противоречие только кажущееся, так как в действительности оно не существует.

Дело в том, что при таком методе отыскивается срок службы, обеспечивающий не локальный, а средний от начала эксплуатации машины минимум себестоимости. Несоблюдение оптимального срока службы как в сторону сокращения, так и в сторону увеличения вызывает повышение средней себестоимости единицы продукции.

Эксплуатация новой машины в течение установленно-го для нее оптимального срока службы, в свою очередь, обеспечивает минимальную величину средней себестоимости.

Начисление амортизации согласно существующему порядку производится равными долями пропорционально сроку использования машины. Следовательно, как раз, наоборот, наиболее благоприятным будет первый период эксплуатации, соответствующий самым низким эксплуатационным расходам. Таким образом, замена машины в оптимальный срок совсем не означает, что произойдет повышение себестоимости и тем более в начальный период эксплуатации новой машины.

Оптимальная долговечность машины по общепринятой методике может быть найдена не только графически, но и аналитически.

Наиболее удачное использование общепринятого принципа определения оптимальной долговечности для аналитического решения сделано, по нашему мнению, проф. А. И. Селивановым [41, стр. 280—282]. Предложенное последним аналитическое определение оптимальной долговечности машины сводится к следующему.

Затраты потребителя, связанные с использованием машины в течение всего срока ее службы, могут быть разовыми (приобретение машины $Y_I = A$), пропорциональными времени использования (хранение, топливо, рабочая сила $Y_{II} = BT$) и прогрессирующими. При этом целесообразно заранее принять $Y_I = A = Q_m - O_1$, где $Q_m - O_1$ — первоначальная стоимость Q_m машины, уменьшенная на полную стоимость O_1 реализованных остатков при снятии машины с эксплуатации.

Прогрессирующие затраты по времени работы машины могут быть выражены с помощью степенной функции вида

$$Y_{III} = CT^n.$$

Таким образом, суммарные затраты потребителя, связанные с использованием машины, могут быть выражены функцией

$$Y = Y_I + Y_{II} + Y_{III} = A + BT + CT^n.$$

Если разделить суммарные затраты Y на всю выполненную машиной работу, выраженную через количество произведенной продукции (работы) или время T , то будет получено среднее значение себестоимости Z_{AC} (здесь и в дальнейшем индекс A означает, что данная величина является средней за амортизационный срок службы машины).

Отыскание оптимальной долговечности машины сводится в конечном счете к нахождению минимума функции $Z_{AC} = Y/T$, т. е. минимума себестоимости единицы продукции (рис. 1)

$$Z_{AC} = \frac{A}{T} + B + CT^{n-1}.$$

На рис. 1 члены этой функции

$$CT^{n-1}, B, \frac{A}{T}, Z_{AC}$$

соответствуют кривым 1—4.

Приравняв к нулю первую производную функции $\frac{dZ_{AC}}{dT}$ и решая полученное уравнение относительно T , находят оптимальную долговечность данной машины

$$T_0 = \sqrt[n]{\frac{A}{(n-1)C}}.$$

Это и является аналитическим решением в общем виде задачи определения оптимальной долговечности машины по материальному износу.

Следует отметить, что методика проф. А. И. Селиванова, являясь в принципе аналогичной разработанным ранее другим аналитическим методом, обладает весьма важным преимуществом: она дает возможность более точно выражать изменения эксплуатационных затрат при применении степенной зависимости*.

В ранее разработанных методах для этих целей использовались только линейные зависимости. Совершенно очевидно, что применение линейных зависимостей значительно сужало возможности применения аналитического метода определения оптимальной долговечности машин, так как возможности аналитического выражения изменения удельных эксплуатационных расходов в этом случае ограничивались только линейной зависимостью.

Однако общепринятая методика (независимо от того графически или аналитически устанавливается долговечность машины) имеет ряд весьма существенных недостатков, наиболее серьезный из которых — недостаточно обоснованный выбор критерия оптимальности. Дело в том, что достижение минимальной себестоимости единицы продукции (работы) машины еще не является достаточным условием, чтобы такой ее срок службы считать оптимальным.

Минимальная величина себестоимости единицы продукции (работы) машины далеко не всегда будет соответствовать достижению наилучшей рентабельности ее использования, а отсюда и наилучшей рентабельности работы участка, цеха, предприятия, где эта машина

* В настоящее время для выражения изменения удельных расходов в функции срока службы машин применяются экспоненциальные зависимости, имеющие целый ряд преимуществ перед степенными.

эксплуатируется. Следовательно, критерий оптимальности — минимум себестоимости — не является полноценным.

Недостаточно обоснованный выбор критерия оптимальности все-таки не лишает практического смысла рассматриваемую методику, так как необходимым и обязательным условием для правильного определения оптимальной долговечности машины, является знание закономерности изменения себестоимости единицы продукции (работы) машины в зависимости от ее срока службы.

Кроме того, как будет показано ниже, срок службы, соответствующий достижению минимальной себестоимости единицы продукции (работы) машины, является верхним предельным значением, которое может соответствовать действительной величине оптимальной долговечности машины, определяемой на основе рентабельности ее использования.

Однако и применение изложенной методики для установления срока службы машины, соответствующего достижению минимальной себестоимости единицы продукции (работы), имеет свои недостатки.

Так, общепринятая методика исходит из непрерывности функции изменения удельных эксплуатационных расходов (включая затраты на капитальный ремонт) с увеличением срока службы машины. Фактически же, как будет показано ниже, эта зависимость является прерывной с особенно большими разрывами в моменты проведения капитальных ремонтов. Игнорирование же дискретности может привести к значительному искажению действительной картины изменения себестоимости единицы продукции (работы) в зависимости от изменения срока службы машины [20, гл. I] и, следовательно, к ошибкам при установлении ее оптимальной долговечности на основе рентабельности использования машины.

Изложенное показывает, что для правильного определения оптимальной долговечности машины необходимо прежде всего тщательно проанализировать изменение себестоимости единицы продукции (работы) машины в зависимости от изменения ее амортизационного срока службы. Но поскольку определение оптимальной долговечности должно производиться на основе изучения изменения рентабельности использования машины, нужно также знать изменение величины производственных фон-

дов, необходимых для обеспечения эксплуатации машины в течение каждого данного ее срока службы.

В соответствии с этим две последующие главы книги посвящены подробному анализу изменения себестоимости единицы продукции (работы) и величины производственных фондов в зависимости от амортизационного срока службы машины.

Глава III

ИЗМЕНЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ЕДИНИЦЫ ПРОДУКЦИИ (РАБОТЫ) МАШИНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ СРОКА СЛУЖБЫ

Выше, при изложении принципиальной сущности наиболее распространенного метода определения срока службы машин, нами уже рассматривался характер изменения отдельных составляющих себестоимости. Однако изменение некоторых составляющих себестоимости фактически протекает несколько иначе, чем это интерпретируется в рассмотренном методе.

Так, функция изменения эксплуатационных расходов, включая затраты на ремонт машины, является фактически дискретной, а не монотонно возрастающей, как это представляется в анализируемой методике. Вследствие такого допущения, во-первых, значительно снижается точность получаемых результатов и, во-вторых, появляются еще и другие недостатки, о которых будет сказано ниже.

Дискретность изменения удельных эксплуатационных расходов особенно ярко проявляется при изучении изменения удельных затрат на ремонты.

Несмотря на то, что износ машины является функцией непрерывной, все виды ремонтных затрат дискретны по своей природе, так как они производятся через некоторые промежутки времени, а не постоянно, по мере появления износа деталей машины.

Как известно, для целей анализа удобнее рассматривать изменение отдельных элементов затрат, а не всю их совокупность. Исходя из этого, не только выделим удельные затраты на ремонты из состава эксплуатаци-

онных расходов, но и разделим их, в свою очередь, на две составляющие: удельные затраты на капитальные (средние) ремонты $Z_{A\text{кр}}$ и удельные затраты на все другие виды ремонтов, включая техническое обслуживание машины (условимся называть их затратами на текущие ремонты) $Z_{A\text{тр}}$, и затем проследим изменение всех этих элементов затрат по ремонту в зависимости от общего срока службы машины.

Напомним, что величина удельных затрат по данной статье расходов определяется как частное от деления суммы затрат, сделанных по этой статье, на количество произведенной за этот период продукции (работы).

Следовательно, удельная величина затрат на капитальный ремонт машины, вплоть до проведения первого капитального ремонта $Z_{A\text{кр}1}$, будет равна нулю, так как расходов по этой составляющей за этот период не было:

$$Z_{A\text{кр}1} = \frac{0}{l_1} = 0, \quad (1)$$

где l_1 — величина первого межремонтного цикла в единицах продукции (работы).

С дальнейшим увеличением срока службы машины возникает необходимость в проведении первого капитального ремонта.

В этом случае удельные затраты на капитальный ремонт будут равны

$$Z_{A\text{кр}2} = \frac{R_1}{l_1 + l_2}, \quad (2)$$

где R_1 — затраты на первый капитальный ремонт машины;

l_2 — величина второго межремонтного цикла.

Удельные затраты на капитальный ремонт при любом n -м числе межремонтных циклов за срок службы машины можно определить как частное от деления суммы затрат на капитальные ремонты на количество произведенной за этот период продукции (работы):

$$Z_{A\text{кр}n} = \frac{\sum_{i=2}^n R_{i-1}}{\sum_{i=1}^n l_i}. \quad (3)$$

Индекс i здесь и в дальнейшем означает количество межремонтных циклов.

Многие машины, кроме указанных выше видов ремонтов, подвергаются еще средним ремонтам. Поскольку изменение удельных затрат на средние ремонты протекает принципиально совершенно аналогично изменению удельных затрат на капитальные ремонты, эту состав-

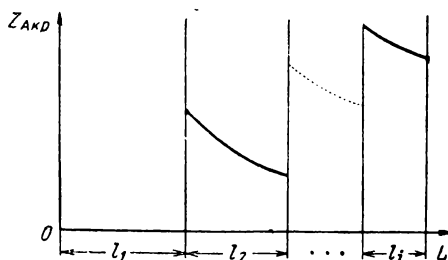


Рис. 2. Изменение удельных затрат на капитальный ремонт $Z_{Акp i}$ в зависимости от срока службы машины L .

l_i — величина межремонтного цикла в единицах продукции (работы) машины.

ляющую можно особо не рассматривать, тем более, что в ряде случаев затраты на средний ремонт практически незначительно отличаются от затрат на капитальный ремонт. В связи с этим представляется целесообразным рассматривать средний ремонт как капитальный, но требующий более низких затрат. Исходя из этого, условимся считать все, что говорится о капитальном ремонте, относящимся и к среднему, за исключением специально оговоренных случаев.

Межремонтный период между капитальным и средним или между двумя средними ремонтами, если последних в цикле больше одного, в данной работе условимся называть межремонтным циклом.

На рис. 2 представлено изменение удельных затрат на капитальный ремонт $Z_{Акp i}$ в зависимости от срока службы машины. Здесь следует обратить внимание на то обстоятельство, что даже если стоимость однократного капитального ремонта с увеличением срока службы машины остается величиной постоянной ($R_{i-1} = \text{const}$), то удельные затраты на капитальный ремонт и в этом случае возрастают, так как уменьшается удельный вес пер-

вого межремонтного цикла, на котором отсутствовали затраты на капитальный ремонт. Этот вывод, кроме того, означает, что величина нормы амортизационных отчислений на капитальный ремонт возрастает с увеличе-

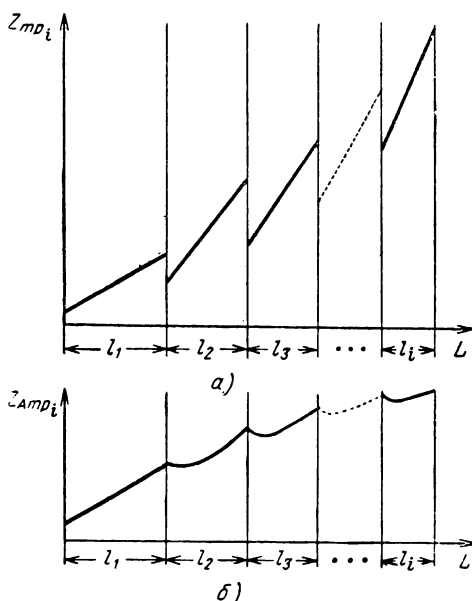


Рис. 3. Изменение удельных затрат на текущие ремонты и обслуживание в зависимости от срока службы машины:
а — в отдельных межремонтных циклах $Z_{тp i}$; б — в среднем от начала эксплуатации $Z_{Aтp i}$.

нием срока службы машины даже в том случае, если стоимость капитального ремонта и межремонтные циклы остаются неизменными.

Рассмотрим теперь, как изменяется величина удельных затрат на текущие ремонты $Z_{Aтp i}$ в зависимости от срока службы машины.

На рис. 3 представлено изменение удельных затрат на текущие ремонты в отдельных межремонтных циклах $Z_{тp i}$ (рис. 3,а) и в среднем от начала эксплуатации $Z_{Aтp i}$ (рис. 3,б).

Прежде всего коротко остановимся на изменении удельных затрат на текущие ремонты в отдельных межремонтных циклах.

Как показали исследования, с увеличением межремонтного цикла происходит возрастание удельных затрат на текущие ремонты машины. Объясняется это постепенно нарастающим по мере увеличения межремонтного цикла износом машины.

После проведения очередного капитального ремонта, как наглядно видно на рис. 3,а, удельные затраты на текущие ремонты несколько снижаются, но затем по мере увеличения межремонтного цикла начинают монотонно нарастать, вплоть до следующего капитального ремонта. Этот процесс повторяется в каждом цикле до самого списания машины в лом.

Снижение удельных затрат на текущие ремонты после проведения капитального ремонта машины, объясняется тем, что во время капитального ремонта были восстановлены или заменены изношенные детали машины. И поэтому, после доброкачественно проведенного капитального ремонта, потребность в текущих ремонтах, естественно, должна снизиться.

Если нарастание удельных затрат на текущие ремонты на каждом межремонтном цикле протекает по закону, близкому к линейной зависимости, тогда удельные затраты соответственно на первом, втором, i -м циклах будут равны:

$$\begin{aligned} Z_{\text{тр}1} &= a_1 + b_1 l_1, \\ Z_{\text{тр}2} &= a_2 + b_2 l_2, \\ &\dots \dots \dots \\ Z_{\text{тр}i} &= a_i + b_i l_i, \end{aligned} \quad (4)$$

а сумма затрат на текущие ремонты за каждый межремонтный цикл, в свою очередь, составит:

$$\begin{aligned} Z_{\text{тр}} l_1 &= a_1 l_1 + b_1 l_1^2, \\ Z_{\text{тр}} l_2 &= a_2 l_2 + b_2 l_2^2, \\ &\dots \dots \dots \\ Z_{\text{тр}} l_i &= a_i l_i + b_i l_i^2. \end{aligned} \quad (5)$$

При определении же изменения средней величины удельных затрат на текущие ремонты от начала эксплуатации $Z_{\text{Атр}}$, как видно из рис. 3,б, линейная зависимость

сохраняется только на первом цикле. Такое изменение можно легко объяснить, если вспомнить, что средняя величина удельных затрат на текущие ремонты $Z_{\text{АТР}}$ определяется как частное от деления суммарных затрат на текущие ремонты $\sum Z_{\text{Тр}i} l_i$ на суммарное количество произведенной за этот срок продукции (работы) $\sum l_i$:

$$Z_{\text{АТР}n} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{\text{Тр}i} l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}. \quad (6)$$

Тогда удельные затраты на текущие ремонты определяются:

при сроке службы, равном одному циклу

$$Z_{\text{АТР}1} = \frac{a_1 l_1 + b_1 l_1^2}{l_1} = a_1 + b_1 l_1,$$

двум циклам

$$Z_{\text{АТР}2} = \frac{a_1 l_1 + b_1 l_1^2 + a_2 l_2 + b_2 l_2^2}{l_1 + l_2},$$

n -циклам

$$Z_{\text{АТР}n} = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i l_i + b_i l_i^2)}{\sum_{i=1}^n l_i}. \quad (7)$$

Как видно из выражения (7), с увеличением числа циклов закономерность роста удельных затрат на текущие ремонты усложняется.

В рассмотренном случае изменение удельных затрат на текущие ремонты в каждом отдельном цикле подчинялось линейной зависимости. Если же эти зависимости и не будут линейными, то суть излагаемого вопроса от этого не изменится. И в этом случае в каждом межремонтном цикле будет происходить нарастание удельных затрат на текущие ремонты и усложнение закономерности при определении средней от начала эксплуатации величины удельных затрат на текущие ремонты $Z_{\text{АТР}}$.

Если машина в процессе использования подвергается средним ремонтам, то влияние последних на изменение удельных затрат на текущие ремонты протекает аналогично влиянию капитальных ремонтов.

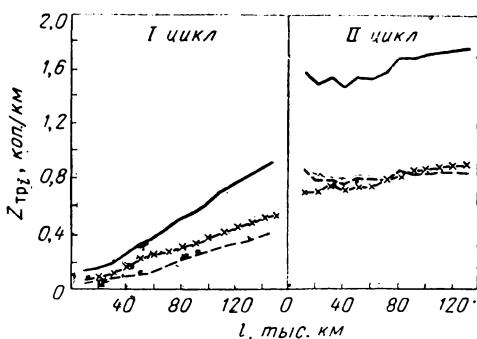


Рис. 4. Рост удельных затрат на текущие ремонты и техническое обслуживание автомобиля ЗИЛ-150 в отдельном межремонтном цикле:

— — — — удельные затраты на запасные части и материалы;
 x—x—x — удельные затраты на рабочую силу; — — — — по сумме затрат ($Z_{тр}$).

На рис. 4—6 представлены графики изменения затрат на текущие ремонты и обслуживание в межремонтном цикле для группы автомобилей ЗИЛ-150, использовавшихся в Харьковском облавтотресте Министерства автомобильного транспорта и шоссейных дорог УССР,

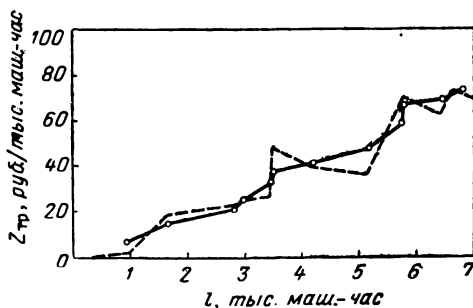


Рис. 5. Рост удельных затрат на текущие ремонты паровоздушного штамповочного молота (вес падающих частей $P=1m$; группа ремонтной сложности 13; изготовлен Воронежским заводом им. М. И. Калинина) в период между двумя средними ремонтами:

— — — — сглаженные данные; — — — — несглаженные данные.

и для паровоздушных штамповочных молотов, использовавшихся на Харьковском тракторном заводе.

Как следует из рисунков, для автомобилей ЗИЛ-150 изменение затрат на текущие ремонты протекает по закону, весьма близкому к линейной зависимости (рис. 4). Для паровоздушных и штамповочных молотов (рис. 5

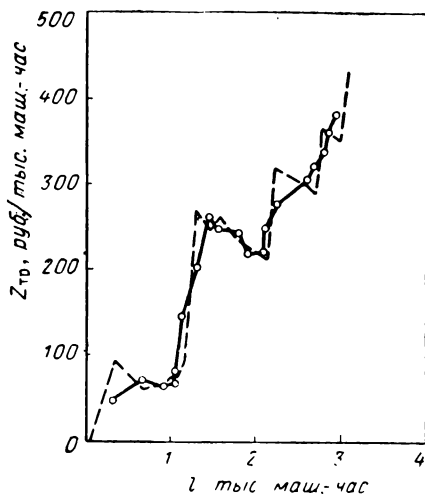


Рис. 6. Рост удельных затрат на текущие ремонты паровоздушного штамповочного молота (вес падающих частей $P=12000$ фунтов, фирмы «Ири», группа ремонтной сложности 24) в период между капитальным и средним ремонтами:

— — — сглаженные данные; — — — несглаженные данные.

и 6) эта закономерность без больших погрешностей также может быть принята линейной. Все это, конечно, не исключает возможности изменения удельных затрат на текущие ремонты и по другим, более сложным законам.

Некоторые составляющие эксплуатационных расходов, возрастание которых также обычно принимается непрерывным, практически изменяются дискретно. Их изменение протекает в принципе аналогично нарастанию удельных затрат на текущие ремонты, так как проведение капитальных или средних ремонтов, улучшая техническое состояние машины, также снижает темп роста других составляющих эксплуатационных расходов.

К таким элементам эксплуатационных расходов можно отнести удельный расход топлива или двигательной

электроэнергии; удельный расход основных материалов, если учесть увеличение брака, вызываемое старением машины; удельную величину накладных расходов, которая, как будет показано ниже, возрастает в связи со снижением производительности стареющей машины. При этом для каждого элемента эксплуатационных расходов может иметь место своя собственная, отличная от других, закономерность роста внутри каждого межремонтного цикла в зависимости от общего срока службы машины.

Естественно, что чем большее число элементов, составляющих себестоимость, будет учтено в расчетах, принимая во внимание динамику их изменения, тем полученная закономерность изменения полной себестоимости в большей степени отразит влияние старения машины и, следовательно, ее оптимальный срок службы будет рассчитан точнее.

Рассмотрим теперь изменение удельной величины накладных расходов $Z_{\text{анр}}$ в зависимости от общего срока службы машины.

Как известно, накладные расходы — это расходы на управление и обслуживание производства, включаемые наряду с основными затратами в себестоимость продукции. Накладные расходы являются косвенными расходами, так как они не могут быть отнесены непосредственно на определенное изделие или вид работ, а распределяются по объектам калькуляции пропорционально какому-либо условному основанию. Таким условным основанием для распределения накладных расходов при калькулировании себестоимости на практике принимают прямую заработную плату производственных рабочих; себестоимость или количество основных материалов; сумму всех прямых затрат; количество затраченных машиночасов работы и пр. Исключение составляют предприятия, производящие один вид продукции (например, гидроэлектростанции, угольные шахты и т. п.), для которых накладные расходы, как и основные затраты, являются прямыми*.

Не останавливаясь на преимуществах или недостатках перечисленных выше способов распределения накладных расходов, так как это не входит в задачи, по-

* «Экономическая энциклопедия», т. II. Изд-во «Советская энциклопедия», стр. 17.

ставленные в данной работе, покажем, что независимо от применяемого способа распределения, удельные накладные расходы растут с увеличением срока службы машины.

Накладные расходы предприятия по своей экономической сущности практически мало зависят от срока службы машин, используемых на данном предприятии. Поэтому годовая сумма накладных расходов, приходящихся на одну машину, при расчете оптимального ее срока службы, может быть принята величиной постоянной ($N_j = \text{const}$), считая, что все прочие условия использования машины неизменны.

Это значит, что в связи с падением производительности машины, вызываемым ее старением, удельные накладные расходы будут возрастать.

Удельные накладные расходы в отдельный j -й год эксплуатации машины $Z_{\text{нр}j}$ могут быть определены как частное от деления годовой суммы накладных расходов N_j , приходящейся на машину, на ее годовую выработку l_j :

$$Z_{\text{нр}j} = \frac{N_j}{l_j}. \quad (8)$$

Индекс j здесь и в дальнейшем означает год срока службы машины.

Отсюда средние от начала эксплуатации удельные накладные расходы $Z_{\text{Анр}}$ будут равны

$$Z_{\text{Анр}} = \frac{TN_j}{\sum_{j=1}^T l_j} = \frac{T}{L} N, \quad (9)$$

где T , L — срок службы соответственно в годах и в условных или натуральных единицах произведенной продукции или работы;

N_j — годовая сумма накладных расходов, приходящаяся на машину, срок службы которой определяется.

Как нетрудно догадаться, отношение T/L представляет собой не что иное, как величину, обратную среднегодовой производительности машины. Но, поскольку последняя с увеличением возраста машины падает, ее обратная величина T/L возрастает. Следовательно, при

$N_j = \text{const}$ растет удельная величина накладных расходов $Z_{\text{анр}}$. Для многих видов машин имеет место довольно значительное уменьшение выработки с увеличением срока службы. Так, для группы автомобилей ЗИЛ-150, эксплуатировавшихся в Харьковском облавтоотресте Министерства автомобильного транспорта и шоссейных дорог

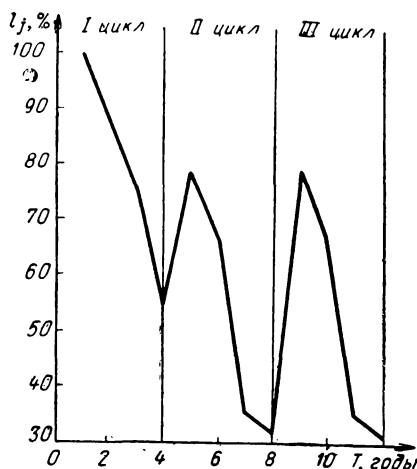


Рис. 7. Годовая выработка автомобиля ЗИЛ-150 в зависимости от его срока службы в процентах к выработке первого года эксплуатации.

УССР, производительность понизилась сравнительно с первым годом их использования (см. табл. 1 и рис. 7) через 4 года эксплуатации до 55%, а через 8 лет — до 33%.

Здесь следует обратить внимание на снижение производительности машины с увеличением межремонтного цикла и нарастание производительности после проведения капитального ремонта при общей тенденции падения производительности с увеличением срока службы машины.

Есть все основания предполагать, что изменение выработки с увеличением срока службы протекает аналогичным образом и для подавляющего большинства других машин.

На рис. 8 и в табл. 1 представлено изменение удельных накладных расходов в отдельные годы $Z_{\text{нрj}}$ и в сред-

Таблица 1

Изменение годовой производительности и удельной величины накладных расходов в зависимости от срока службы автомобиля ЗИЛ-150 в процентах к первому году эксплуатации.
Средние данные по группе в 10 автомобилей (Харьковский облавоттрест)

Срок службы, годы	Годовая производительность	Удельная величина накладных расходов	
		в отдельные годы	в среднем от начала эксплуатации
1	100	100	100
2	87	115	107
3	75	133	116
4	55	182	132
5	79	126	131
6	67	149	134
7	36	288	137
8	33	313	176
9	79	126	170
10	67	149	168
11	36	288	179
12	33	313	190

Примечание. При капитальном ремонте автомобиля обезличиваются, в связи с чем их производительность в отдельные годы второго цикла равна производительности в соответствующие годы третьего цикла.

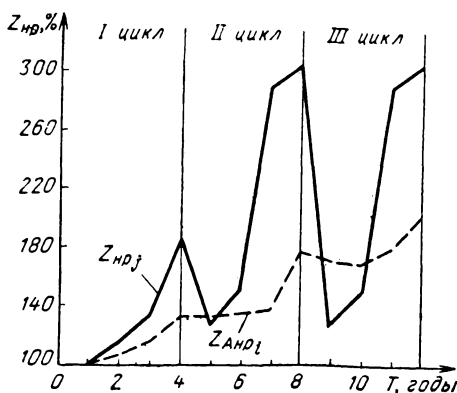


Рис. 8. Изменение удельных накладных расходов в зависимости от срока службы автомобиля ЗИЛ-150:
— в отдельные годы эксплуатации ($Z_{нрj}$); — — — в среднем от начала эксплуатации ($Z_{нрI}$).

нем от начала эксплуатации $Z_{\text{Апрj}}$ автомобиля ЗИЛ-150, динамика годовой производительности которого была представлена на рис. 7.

Что касается удельных затрат на приобретение машины $Z_{\text{АС}}$ и удельных эксплуатационных расходов по элементам, практически не изменяющимся в зависимости от срока службы машины, то их изменение протекает так, как это было показано при рассмотрении общепринятого метода определения долговечности машины.

Зная действительные закономерности изменения каждой составляющей себестоимости, можно найти изменение их суммарной величины в зависимости от срока службы машины.

Средняя себестоимость единицы продукции (работы) машины $Z_{\text{АС}}$ с учетом динамики изменения всех ее составляющих может быть определена как частное от деления суммы всех расходов, связанных с ее приобретением и использованием, на количество продукции (работы), произведенной за каждый данный срок ее службы.

Однако, как будет показано ниже, наибольший интерес при установлении оптимального срока службы машин представляют значения себестоимости, соответствующие целому числу циклов эксплуатации за срок службы машины.

В связи с этим покажем, как определить величину себестоимости при сроке службы машины, кратном числу межремонтных циклов.

Так, себестоимость единицы продукции (работы) машины $Z_{\text{АС1}}$ при сроке службы, равном одному межремонтному циклу, можно определить по формуле

$$Z_{\text{АС1}} = \frac{S + E_1}{l_1}. \quad (10)$$

При сроке службы, равном двум межремонтным циклам:

$$Z_{\text{АС2}} = \frac{S + E_1 + R_1 + E_2}{l_1 + l_2} \quad (11)$$

и т. д.

В общем виде, при сроке службы машины, равном n межремонтным циклам, формулу себестоимости можно

записать следующим образом:

$$Z_{ACn} = \frac{S + \sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=2}^{n-1} R_{i-1}}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (12)$$

где S — стоимость приобретения машины без ее ликвидационной стоимости;

E_i — сумма затрат по эксплуатации машины в течение i -го цикла;

l_i — величина i -го межремонтного цикла в единицах продукции (работы);

n — число циклов эксплуатации за срок службы машины.

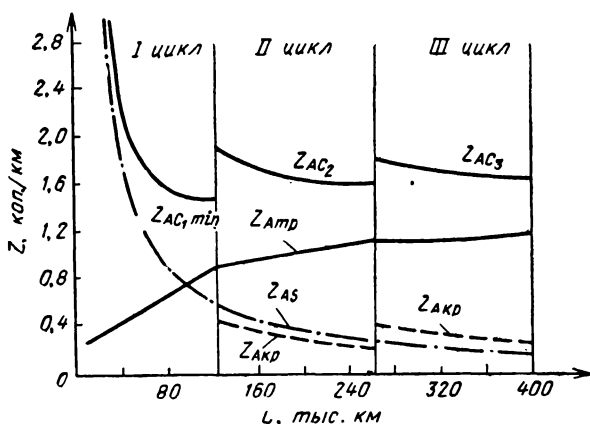


Рис. 9. Изменение себестоимости 1 км пробега автомобиля ЗИЛ-150 по затратам на приобретение и ремонты в зависимости от срока службы:

$Z_{АС}$ — удельные амортизационные отчисления на восстановление; $Z_{Атр}$, $Z_{Акр}$ — удельные затраты, соответственно, на текущие и капитальные ремонты; Z_{AC} — себестоимость по сумме затрат.

На рис. 9 и 10 представлено изменение себестоимости 1 км пробега по затратам на приобретение и ремонты автомобилей ЗИЛ-150 и ГАЗ-51 в зависимости от их срока службы L , выраженного в километрах пробега. Остальные составляющие себестоимости здесь не учитывались.

На рис. 11 представлено изменение себестоимости 1 маш.-час работы бульдозер Д-157 по затратам на приобретение и ремонты с учетом накладных расходов в зависимости от срока службы, выраженного в календарном времени (месяцах).

Данные об изменении себестоимости 1 маш.-час работы бульдозера Д-157 собраны и обработаны аспирант-

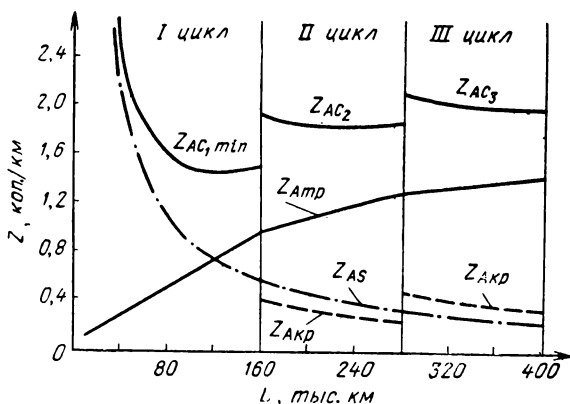


Рис. 10. Изменение себестоимости 1 км пробега автомобиля ГАЗ-51 по затратам на приобретение и ремонты в зависимости от срока службы:

Z_{AS} — удельные амортизационные отчисления на восстановление, $Z_{Атр}$, $Z_{Акр}$ — удельные затраты соответственно на текущие и капитальные ремонты; Z_{AC} — себестоимость по сумме затрат.

кой Харьковского инженерно-экономического института А. К. Черноволот.

Как наглядно видно из рис. 9—11, кривые изменения себестоимости (Z_{ACi}) являются дискретными, что объясняется характером изменения составляющих себестоимости.

При этом изменение себестоимости Z_{ACi} в каждом отдельном цикле происходит от некоторой максимальной величины в его начале до минимальной величины или более близкой к ней в его конце. Это значит, что наименьшая из всех возможных величина себестоимости единицы продукции (работы) машины (абсолютный минимум из ряда частных) может быть достигнута, если ее амортизационный срок службы будет равен целому числу межремонтных циклов.

Следует особо подчеркнуть, что этот вывод имеет очень большое практическое значение при установлении оптимального срока службы машин.

Проведенный выше анализ себестоимости позволяет установить срок службы, соответствующий достижению ее минимальной величины. Для этого необходимо по фор-

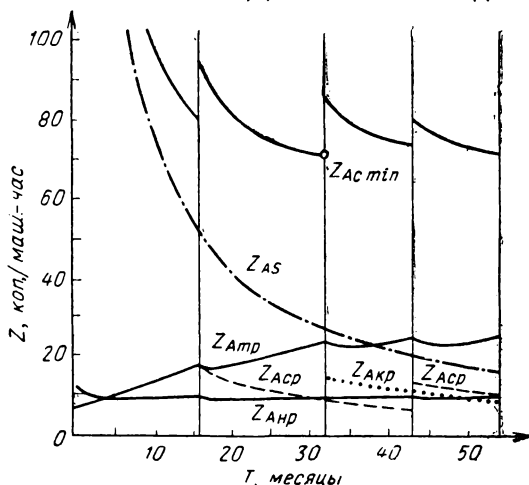


Рис. 11. Изменение себестоимости 1 маш.-час работы бульдозера Д-157 по затратам на приобретение и ремонты с учетом накладных расходов в зависимости от срока службы:

$Z_{АС}$ — удельные амортизационные отчисления на восстановление;
 $Z_{Амр}$, $Z_{Акр}$, $Z_{Аср}$ — удельные затраты соответственно на текущие, капитальные и средние ремонты; $Z_{Авр}$ — удельные накладные расходы;
 $Z_{АС}$ — себестоимость по сумме затрат.

муле (12) последовательно определить себестоимость единицы продукции (работы) при сроке службы машины, равном одному, двум, трем и т. д. межремонтным циклам. Сравнив полученные результаты между собой, нетрудно установить срок службы, соответствующий достижению минимальной величины себестоимости.

В рассмотренных примерах, как наглядно видно из рисунков, минимальная себестоимость 1 км пробега автомобилей ЗИЛ-150 и ГАЗ-51 обеспечивается при сроке службы, равном одному первому межремонтному циклу, т. е. до возникновения потребности в первом капитальном ремонте, несмотря на то, что полная стоимость автомобиля включена в издержки.

Для бульдозера Д-159 наиболее низкая себестоимость 1 маш.-час работы обеспечивается при сроке службы, равном двум условным циклам, т. е. при наступлении потребности в первом капитальном ремонте*.

Глава IV

ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ В СФЕРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКА СЛУЖБЫ МАШИНЫ

Величина производственных фондов является одним из главных факторов, определяющих рентабельность работы предприятия. В связи с этим для правильного установления оптимального срока службы машины необходимо знать, какое влияние оказывает изменение амортизационного срока службы машины на величину производственных фондов того предприятия, где используется машина.

Другими словами, необходимо прежде всего установить величину производственных фондов Φ_j , потребных для эксплуатации данной машины в каждом данном j -м году ее срока службы, а затем на этой основе установить среднегодовую стоимость производственных фондов Φ_{Aj} при каждом сроке службы машины, равном T годам, а также их удельные величины Z_{Φ_j} и $Z_{A\Phi_j}$.

Среднегодовую стоимость производственных фондов Φ_{Aj} при сроке службы машины, равном T годам, можно определить по формуле

$$\Phi_{Aj} = \frac{\sum_{i=1}^T \Phi_j}{T}. \quad (13)$$

Для определения величины производственных фондов Φ_j , потребных для эксплуатации машины в любом данном j -м году ее срока службы, прежде всего необходимо

* Полученные результаты ни в коем случае не следует понимать как доказательство неэффективности капитального ремонта вообще как трудового процесса.

установить отдельные составляющие фондов, а затем проанализировать их изменение в зависимости от амортизационного срока службы машины.

Напомним, что совокупность основных фондов и оборотных средств образует производственные фонды. К основным фондам относятся средства труда — оборудование, здания и сооружения.

Оборотные средства промышленных предприятий состоят из следующих элементов: основных материалов и полуфабрикатов, вспомогательных материалов, топлива, запасных частей, малоценных и быстроизнашивающихся предметов, незавершенного производства, расходов будущих периодов, запасов готовых изделий на складах, денежных средств (в кассе и на счетах в банках).

Теперь рассмотрим изменение каждой составляющей производственных фондов в зависимости от изменения амортизационного срока службы машины. В основные фонды следует включать, во-первых, стоимость машины S , оптимальный срок службы которой определяется, и, во-вторых, долю стоимости оборудования, используемого для ремонта и технического обслуживания данной машины в течение ее амортизационного срока службы. В принципе аналогичный подход должен сохраняться и при анализе оборотных средств с целью установления их изменения в зависимости от срока службы машины.

Стоимость машины S является величиной постоянной, так как по существующему положению (независимо от ее фактического срока службы) она учитывается в составе производственных фондов по ее первоначальной балансовой стоимости*.

Если изменение составляющих производственных фондов в зависимости от срока службы машины представить графически, то часть составляющих, включая стоимость машины S , будет представлять собой постоянную величину (прямая A , параллельная оси абсцисс на рис. 12). Однако стоимость машин и оборудования, кото-

* Хотя анализ правомерности этого положения не входит в задачи настоящей работы, однако отметим, что, по нашему мнению, методически более правильно было бы учитывать машины по их остаточной, а не по первоначальной стоимости, так как остаточная стоимость ближе к фактической, которую имеют машины в каждый данный момент времени их использования.

рые используются для текущего ремонта и обслуживания данной машины, уже не будет величиной постоянной при изменении срока службы последней. Эта составляющая производственных фондов будет возрастать с увеличением срока службы машины.

И действительно, если представить себе, что амортизационный срок службы машины не превышает гарантийного срока, в течение которого обычно в машине не

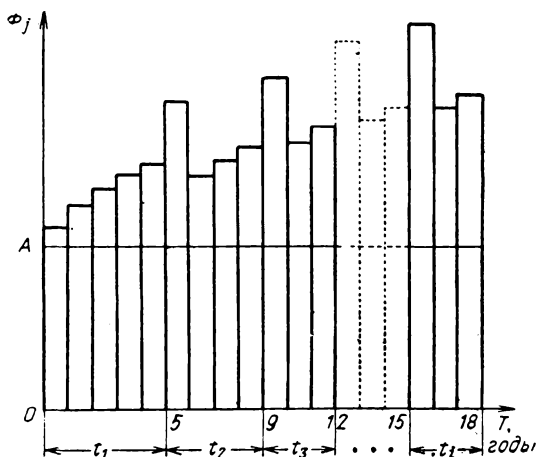


Рис. 12. Изменение величины производственных фондов Φ_j , необходимых в отдельные годы эксплуатации машины, в течение ее срока службы.

t_i — продолжительность межремонтного цикла.

возникает никаких неисправностей, то в этом случае практически не будет ремонтов и, следовательно, все оборудование, предназначенное для ремонта, окажется ненужным. Конечно, такой срок службы явно нерационален. Но это другой вопрос. Здесь предположение о возможности существования такого срока службы машины делается только с целью выявления тенденции изменения величины производственных фондов.

При таком коротком сроке службы машины потребный объем ее технического обслуживания будет также очень незначителен, следовательно, и потребность в оборудовании для проведения технического обслуживания будет также очень незначительна.

По мере увеличения амортизационного срока службы машины (за пределы гарантийного срока) в связи с ее старением будет расти не только потребный объем ремонтных работ и технического обслуживания, но будет также увеличиваться номенклатура этих работ и, следовательно, будет расти потребность в оборудовании для ремонта и обслуживания как по количественному (в связи с увеличением загрузки), так и по качественному (в связи с увеличением номенклатуры ремонтных работ) составу.

Изложенное, на наш взгляд, достаточно убедительно показывает, что с увеличением срока службы машины происходит рост этой составляющей производственных фондов.

Рассмотрим составляющую производственных фондов — здания. Очевидно, производственная площадь, необходимая для установки и использования данной машины, будет неизменна, какой бы амортизационный срок службы эта машина не имела. Но производственная площадь, используемая для текущего ремонта и технического обслуживания (ремонтные цехи, участки, специальные профилактории для ремонта и технического обслуживания машин, депо и т. п.), с увеличением амортизационного срока службы машины возрастает. Это также объясняется ростом объема и номенклатуры работ по ремонту и обслуживанию машины, вызываемым ее старением.

Изменение составляющей «сооружения» будет протекать аналогично изменению рассмотренной выше составляющей — «оборудование», т. е. с увеличением срока службы машины будет происходить возрастание и этой составляющей. Здесь также имеются в виду только сооружения, предназначенные для ремонта и технического обслуживания данной машины, срок службы которой определяется.

* * *

Проанализируем теперь изменение потребной величины оборотных средств в отдельные годы эксплуатации машин.

Аналогично с основными фондами в оборотных средствах следует рассматривать только те их элементы, которые связаны с ремонтом и техническим обслуживанием машины, так как остальные элементы не будут за-

висеть от изменения амортизационного срока службы машины и при прочих равных условиях останутся величиной постоянной. К элементам оборотных средств, величина которых зависит от амортизационного срока службы машины, можно отнести вспомогательные материалы и запасные части для текущего ремонта.

В связи с ростом объема работ по ремонту и обслуживанию стареющей машины расход вспомогательных материалов, предназначенных для обслуживания и ремонта машин (например, смазка, ремонтные материалы, краски и т. п.), увеличивается и, следовательно, возрастает объем оборотных средств, необходимых для создания определенного их запаса.

Элементы оборотных средств — запасные части для текущего ремонта — целиком зависят от срока службы машины. Совершенно очевидно, что чем больше амортизационный срок службы машины, тем больше растет потребность в запасных частях, необходимых для ее ремонта, и тем больше будет отвлекаться оборотных средств для создания их нормативного запаса. Остальные элементы оборотных средств, по нашему мнению, практически не зависят или зависят в очень незначительной степени от изменения амортизационного срока службы машины.

Здесь нужно обратить внимание на то, что рост перечисленных выше элементов, составляющих оборотные средства, не происходит монотонно, а имеет некоторое снижение (падение) после проведения капитальных (средних) ремонтов. Объясняется это тем, что после капитального ремонта машины значительно снижается потребность в ремонтных материалах и запасных частях, которая с увеличением межремонтного цикла начинает снова возрастать. Это обстоятельство имеет важное, принципиальное значение при установлении оптимального срока службы машин.

Как следует из изложенного, с увеличением амортизационного срока службы машины часть элементов, составляющих производственные фонды, возрастает, в то время как величина остальных элементов остается неизменной. При этом скорость приращения стоимости производственных фондов, потребных для технического обслуживания и ремонта машины, может несколько снижаться по мере увеличения срока службы машины, но

во всех без исключения случаях годовая величина производственных фондов Φ_j будет возрастать с увеличением срока службы машины.

Во многих отраслях промышленности (например, в машиностроении, металлургии и др.) капитальный ремонт машин производится на тех же предприятиях, на которых эти машины используются.

Следовательно, в состав производственных фондов входят также и фонды, необходимые для осуществления капитальных ремонтов машины, срок службы которой определяется.

Производственные фонды, необходимые для осуществления капитальных ремонтов $\Phi_{крj}$, будут включать в себя оборудование, здания, сооружения, а также ряд элементов оборотных средств.

Закономерность изменения этой части производственных фондов в зависимости от срока службы машины следует устанавливать исходя из потребности машины в капитальных ремонтах.

Очевидно, что если бы амортизационный срок службы машины находился в пределах первого межремонтного цикла, то вообще не было бы необходимости в ее капитальном ремонте и, следовательно, не было бы потребности в производственных фондах, необходимых для осуществления капитальных ремонтов. Иначе говоря, годовая их величина была бы равна нулю.

Но если срок службы машины будет превышать первый межремонтный цикл, то в этом случае появляется необходимость в осуществлении капитального ремонта, а отсюда и в производственных фондах.

Можно считать, что при эксплуатации одной машины, срок службы которой определяется, производственные фонды, потребные для ее капитального ремонта, нужны только в тот период, когда ремонт производится. В остальное время потребность в этих производственных фондах отсутствует. В соответствии с этим производственные фонды, потребные для проведения капитального ремонта, следует относить к тому году, в пределах которого ремонт производится. Разумеется, нельзя создавать и ликвидировать производственные фонды в соответствии с периодичностью капитальных ремонтов, но такой метод рассуждений можно использовать для решения поставленного вопроса.

Величина производственных фондов по капитальному ремонту также возрастает с увеличением срока службы машины, так как растет объем и номенклатура ремонтных работ, и, следовательно, в какой-то мере увеличиваются потребное количество и номенклатура оборудования, необходимого для проведения капитального ремонта с увеличением его порядкового номера. Увеличивается также потребность в ремонтных материалах, запасных частях для капитального ремонта и, следовательно, растет величина оборотных средств по этим элементам. Итак, мы рассмотрели изменение всех элементов производственных фондов в сфере эксплуатации в зависимости от срока службы машин.

На рис. 12 представлено изменение годовой величины производственных фондов Φ_j , необходимой в каждом отдельном j -м году эксплуатации машины. Ордината OA представляет собой неизменяющуюся в зависимости от срока службы машины часть производственных фондов. В те годы, когда производится капитальный ремонт машины, потребные производственные фонды значительно возрастают.

На рис. 13 показано изменение среднегодовой величины производственных фондов Φ_{Aj} в зависимости от срока службы машины. При этом изменение среднегодовой величины производственных фондов, необходимых для проведения капитального ремонта, выделено из общей суммы производственных фондов и показано штрихпунктирной линией.

Некоторое снижение среднегодовой величины производственных фондов по капитальному ремонту с увеличением межремонтного цикла объясняется тем, что в этом случае стоимость производственных фондов относится уже не к отдельному году, а ко всему данному сроку службы машины, но и при этом сохраняется общая тенденция роста.

Следует отметить, что при расчете оптимального срока службы машины на основе рентабельности ее использования должны быть учтены все составляющие производственных фондов (как изменяющиеся, так и неизменяющиеся), так как на искомый результат оказывает влияние не только закономерность их изменения, но и абсолютная величина. Таким образом, с увеличением срока службы машины происходит рост годовой вели-

чины производственных фондов Φ_j , потребных для ее эксплуатации.

Теперь определим тенденцию изменения удельной величины производственных фондов $Z_{\Phi i}$.

Удельная величина производственных фондов в данном, j -м, году эксплуатации машины может быть опре-

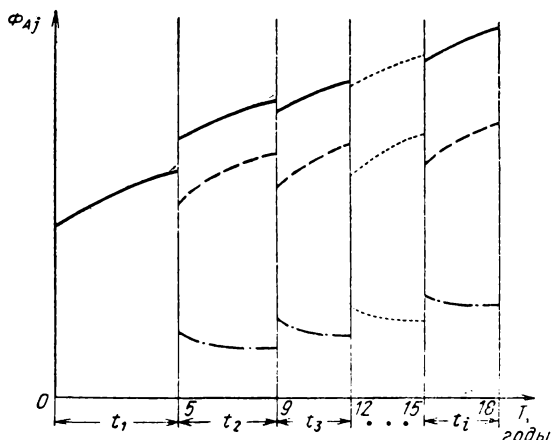


Рис. 13. Изменение среднегодовой величины производственных фондов Φ_{Aj} в зависимости от срока службы машины T :

— · — · — по капитальным ремонтам; — — — без капитальных ремонтов; — суммарная; t_i — продолжительность межремонтного цикла.

делена как отношение стоимости производственных фондов данного года Φ_j к количеству продукции (работы), произведенной машиной за этот же год эксплуатации l_j :

$$Z_{\Phi j} = \frac{\Phi_j}{l_j}. \quad (14)$$

Поскольку годовая производительность машины l_j — знаменатель дроби, имеет тенденцию снижения в связи со старением машины при возрастающем числителе дроби Φ_j , постольку $Z_{\Phi j}$ будет уменьшаться с увеличением срока службы машины.

Аналогично можно определить среднегодовую удельную величину производственных фондов $Z_{A\Phi j}$ как отношение суммы стоимости годовых производственных фон-

дов $\sum_{j=1}^T \Phi_j$ к количеству произведенной продукции (работы) $\sum_{j=1}^T l_j$ за весь данный срок службы:

$$Z_{A\Phi j} = \frac{\sum_{j=1}^T \Phi_j}{\sum_{j=1}^T l_j}. \quad (15)$$

Если в равенство (15) подставить

$$\sum_{j=1}^T \Phi_j = T\Phi_{Aj} \text{ и } \sum_{j=1}^T l_j = L,$$

то

$$Z_{A\Phi j} = \frac{T}{L} \Phi_{Aj}, \quad (16)$$

где T/L — величина, обратная среднегодовой производительности машины. Последняя, как было показано выше, с увеличением срока службы машины возрастает. Увеличивается при этом и среднегодовая стоимость производственных фондов Φ_{Aj} , а следовательно, еще с большей интенсивностью происходит рост удельной величины производственных фондов $Z_{A\Phi j}$.

Таким образом, можно считать доказанным, что *увеличение амортизационного срока службы машины вызывает рост производственных фондов предприятия, использующего данную машину*, что имеет существенное значение при установлении границ оптимального срока службы машин.

На примере эксплуатации автомобиля ЗИЛ-150 проследим изменение величины удельной стоимости машины как составляющей производственных фондов в зависимости от ее срока службы. Для этого воспользуемся данными об изменении годовой производительности автомобиля, приведенными в табл. 1. Удельную стоимость автомобиля будем выражать в процентах к первому году эксплуатации, принятому за 100%.

Тогда удельная стоимость автомобиля, определяемая по формуле (14), будет равна:

во втором году эксплуатации

$$Z_{AS2} = \frac{S}{l_2} = \frac{100}{87} \cdot 100 = 115\%;$$

в третьем году

$$Z_{AS3} = \frac{100}{75} \cdot 100 = 133\%.$$

и т. д.

Для определения среднегодовой удельной стоимости машины Z_{ASj} можно воспользоваться формулой (15). При сроке службы 1 год Z_{ASj} равна 100%, 2 года — 107%, 3 года — 116% и т. д. Если сравнить полученные результаты с данными (см. табл. 1) об изменении удельной величины накладных расходов (также выраженных в процентах к первому году), то нетрудно обнаружить их полную идентичность. Это значит, что удельная стоимость машины как составляющая производственных фондов изменяется обратно пропорционально выработке машины.

Интересно отметить, что совершенно идентичные результаты получаются и в том случае, если рассчитать изменение количества машин, потребных для выполнения постоянного в единицу календарного времени объема продукции (работы), в зависимости от их амортизационного срока службы. Результаты такого расчета для автомобилей ЗИЛ-150 представлены на рис. 14, где потребное количество автомобилей в первый год эксплуатации принято за 100%.

Как видно из рисунка, для того чтобы выполнять постоянный объем перевозочных работ, требуется почти в 3 раза больше автомобилей, эксплуатируемых на 7, 8, 11 и 12-м годах их срока службы.

Результаты, аналогичные только что полученным, будут иметь место и для всех других составляющих производственных фондов, если их годовая величина, отнесенная к одной машине, принимается подобно ее стоимости постоянной независимо от срока службы машины.

Все это означает, что в целом ряде случаев чем меньше период эксплуатации машины, тем меньше нужно машин и тем меньше потребная величина доли производственных фондов, приходящихся на одну машину, исключая стоимость последней. Иначе говоря, с увеличением срока службы машин, почти как правило, увеличивается

и потребность в машинах, и стоимость производственных фондов, необходимых для их обслуживания и ремонта.

В связи с тем, что вопрос об изменении величины производственных фондов в зависимости от срока службы машин, насколько нам известно, экономической наукой вообще не изучался, на первых порах для практических расчетов можно рекомендовать приближенное определение среднегодовой величины производственных фондов.

Рассмотрим следующий простейший пример.

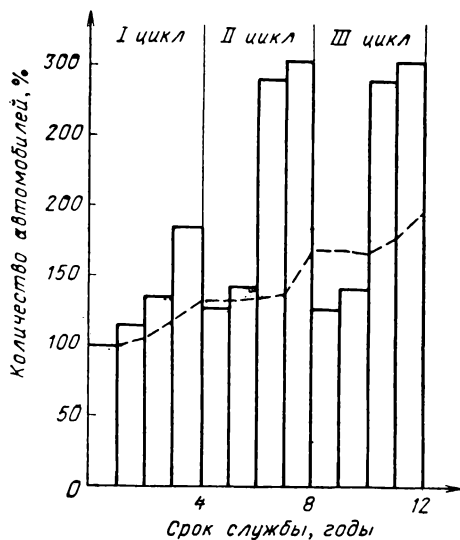


Рис. 14. Изменение потребного количества автомобилей ЗИЛ-150 для выполнения постоянного годового объема работы в зависимости от срока службы, в процентах к первому году эксплуатации:

—— в отдельные годы; — — — в среднем от начала эксплуатации.

Предположим, определяется оптимальный срок службы автомобиля модели ЗИЛ-150, используемого в автомобильном хозяйстве, подвижной состав которого составляет 100 автомобилей той же модели.

При этом суммарная величина производственных фондов автохозяйства $\Sigma \Phi_{\text{пр}}$ составляет 280 000 руб. Годовая величина производственных фондов Φ_j , приходящаяся на один автомобиль ЗИЛ-130, в этом случае будет равна 2 800 руб. ($280\,000 : 100$).

В первом приближении можно принять, что и среднегодовая величина производственных фондов будет постоянной:

$$\Phi_{Aj} = \Phi_j = \text{const.}$$

Как следует из примера, определить величину производственных фондов, приходящихся на одну машину, в этом простейшем случае не представляет затруднений. Но парк машин промышленного предприятия, в том числе и автомобильного хозяйства, состоит обычно из различных машин. Следовательно, даже при приближенном определении годовой величины производственных фондов, относящихся к машине, срок службы которой определяется, ее уже нельзя установить, разделив общую сумму стоимости производственных фондов на количество единиц оборудования, так как это было сделано в только что рассмотренном примере.

Величину производственных фондов предприятия, относящуюся к данной машине можно принять пропорциональной ее балансовой стоимости. Для этого необходимо определить соотношение между общей суммарной стоимостью производственных фондов предприятия $\Sigma\Phi_{\text{пр}}$ и стоимостью машинного парка $\Sigma\Phi_{\text{мп}}$, составляющего активную часть производственных фондов:

$$K_{\Phi} = \frac{\Sigma\Phi_{\text{пр}}}{\Sigma\Phi_{\text{мп}}}. \quad (17)$$

Если балансовая стоимость машины, оптимальный срок службы которой определяется, составляет S руб., то среднегодовая сумма производственных фондов Φ_{Aj} , необходимых для ее использования (включая и стоимость самой машины S), будет равна

$$\Phi_{Aj} = K_{\Phi} S. \quad (18)$$

Разумеется, если просуммировать производственные фонды, отнесенные к каждой машине, использующейся на предприятии, то будет получена сумма стоимости производственных фондов предприятия в целом.

В заключение следует указать, что, вероятно, возможен и иной подход при приближенном определении годовой величины производственных фондов при установлении оптимального срока службы машины.

ЦИКЛОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ МАШИН ПО МАТЕРИАЛЬНОМУ ИЗНОСУ

Определение оптимальной долговечности машины, по нашему мнению, методически можно рассматривать как частичный случай определения экономической эффективности внедрения новой техники.

При выборе наилучшего варианта новой техники сравниваемые варианты обеспечивают получение продукции с определенной себестоимостью и требуют для своего осуществления определенных капитальных вложений в основные и оборотные средства. При каждом данном варианте срока службы машины обеспечивается данный, отличный от других, уровень себестоимости единицы продукции (работы) при отличающейся величине производственных фондов, необходимых для обеспечения данного срока ее службы. Следовательно, при определении оптимального срока службы одну и ту же машину, если для нее планировать различный амортизационный срок службы, условно можно рассматривать как ряд различных машин одного и того же назначения с различным уровнем себестоимости единицы продукции (работы), производящейся с ее помощью, при различной величине необходимых капитальных вложений.

Таким образом, определение оптимального срока службы машины в своих принципиальных методических основах аналогично выбору наиболее эффективного из ряда альтернативных вариантов новой техники.

Нетрудно представить себе, что в пределах возможного срока службы машины по материальному износу заключено бесконечно большое число вариантов выбора амортизационного срока службы машины. Как известно, из всех возможных вариантов экономически наиболее эффективным считается тот, внедрение которого требует наименьших капитальных затрат и обеспечивает одновременно наименьшую себестоимость продукции. Если же более низкая себестоимость продукции может быть достигнута лишь при увеличении капитальных вложений, вопрос об эффективности такого варианта должен решаться в соответствии с типовой методикой опре-

деления экономической эффективности капитальных вложений и новой техники Академии Наук СССР путем соизмерения дополнительных капитальных затрат с экономией на текущих затратах. При этом наилучшим считается тот вариант, при котором будет обеспечено оптимальное соотношение капитальных вложений и текущих издержек производства, т. е. наиболее низкий уровень приведенных затрат [30, стр. 9].

Величина годовой суммы приведенных затрат определяется по известной формуле типовой методики

$$C + P_n K = \min, \quad (19)$$

где K — капитальные вложения по данному варианту;

C — себестоимость продукции за год по тому же варианту;

P_n — нормативный коэффициент эффективности (величина, обратная нормативному сроку окупаемости).

Формула (19) экономически и математически вытекает из формулы срока окупаемости*, но она более удобна при практическом использовании.

Однако метод выбора варианта на основе минимума приведенных затрат страдает целым рядом недостатков.

Так, на наш взгляд, совершенно справедливо отметил В. О. Чернявский, что основной недостаток метода выбора варианта по минимуму приведенных затрат заключается в том, что мы абстрагируемся от общественной стоимостной оценки производимой продукции [46, стр. 72—73]. Этот вывод В. О. Чернявский подтверждает примером, который мы воспроизводим в табл. 2.

При всех рассматриваемых в примере вариантах производится равное количество продукции одинакового качества при 20%-ной эффективности.

* Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений определяется по формуле

$$T = \frac{K_1 - K_2}{C_2 - C_1},$$

где K_1 и K_2 — капитальные вложения по сравниваемым вариантам;

C_1 и C_2 — себестоимость готовой продукции по этим вариантам;

T — срок окупаемости дополнительных капитальных вложений.

Таблица 2

Показатели	Варианты		
	I	II	III
Капитальные вложения (K)	15	20	25
Себестоимость (C)	19	17	15
Приведенные затраты ($C + 0,2 K$)	22	21	20
Цена реализации продукции ($Ц$)	27	27	27
Прибыль ($Ц - C$)	8	10	12
Коэффициент эффективности $\left(\frac{Ц - C}{K}\right)$	0,53	0,50	0,48

Как следует из табл. 2, при выборе варианта на основе минимума приведенных затрат наиболее экономичным будет третий и наименее экономичным — первый вариант.

Но при оценке варианта с помощью коэффициента эффективности (рентабельности) наиболее эффективным будет первый вариант и наименее эффективным — третий. Результат — прямо противоположный!

Здесь локальный минимум приведенных затрат не соответствует общественному минимуму, который наиболее полно характеризуется уровнем рентабельности, т. е. величиной чистой прибыли, получаемой на каждый рубль производственных фондов.

Серьезным недостатком метода приведенных затрат является и то, что он отражает срок окупаемости только дополнительных капитальных вложений, а не полной их суммы. Кроме того, применение этого метода не учитывает возможности повышения рентабельности производства не только за счет снижения себестоимости, но и за счет увеличения количества производимой продукции.

Все эти недостатки не позволяют использовать минимум приведенных затрат в качестве критерия оптимальности при установлении срока службы машин.

В решениях сентябрьского Пленума ЦК КПСС (1965 г.) говорится, что эффективность производственной работы промышленного предприятия наиболее полно характеризуется уровнем рентабельности. Этот критерий применим для характеристик эффективности ра-

боты отрасли промышленности, работы отдельного предприятия или его производственных звеньев (цехов, участков). В такой же мере, по нашему мнению, этот критерий применим и для характеристики эффективности работы отдельной машины или любого другого технического устройства.

Поскольку с увеличением возраста машины меняется уровень рентабельности ее работы (так как изменяется себестоимость единицы продукции и изменяется размер производственных фондов, необходимых для нормального функционирования машины), постольку возникает необходимость устанавливать экономически оптимальный срок службы машины, т. е. такой, при котором обеспечивалась бы наилучшая рентабельность.

Соблюдение этого правила является обязательным условием достижения наилучшей эффективности работы, начиная от отдельного рабочего места, участка и кончая отраслью промышленности и народным хозяйством в целом.

* * *

Теперь рассмотрим методику определения оптимального срока службы машины, т. е. срока службы, соответствующего обеспечению наибольшей рентабельности в среднем за весь период ее использования.

Как известно, рентабельность \mathcal{E} определяется как отношение чистой прибыли M (разность между годовой продукцией (работой), выраженной в оптовых ценах \mathcal{C} , и издержками производства C) к стоимости производственных фондов, т. е. основных фондов и оборотных средств Φ , поскольку последние выражают применяемые в производстве ресурсы:

$$\mathcal{E}_j = \frac{\mathcal{C}_j - C_j}{\Phi_j} = \frac{M_j}{\Phi_j}. \quad (20)$$

По формуле (20) можно определить рентабельность работы машины за отдельный год ее использования, в то время как для установления оптимального срока службы машины необходимо знать изменение среднего уровня рентабельности ее использования в зависимости от изменения амортизационного срока службы.

При этом оптимальным будет такой срок службы T_0 , при котором обеспечивается наибольшая среднегодовая

рентабельность за весь этот срок. Очевидно, среднегодовая рентабельность \mathcal{A}_j за весь данный срок службы машины T может быть определена аналогичным путем, т. е. как отношение суммы чистой прибыли $\sum_{j=1}^T M_j$, полученной в результате реализации произведенной в течение всего срока службы машины продукции, к сумме производственных фондов $\sum_{j=1}^T \Phi_j$, использовавшихся в течение этого периода в каждый отдельный, j -й, год эксплуатации машины: *

$$\mathcal{A}_j = \frac{\sum_{j=1}^T M_j}{\sum_{j=1}^T \Phi_j}. \quad (21)$$

Суммарную прибыль, разумеется, можно выразить и как разность между стоимостью продукции, выраженной в оптовых ценах $\sum_{j=1}^T \mathcal{U}$, и полной суммой издержек производства $\left(\sum_{j=1}^T C_j \right)$, тогда формула (21) примет следующий вид:

$$\mathcal{A}_j = \frac{\sum_{j=1}^T \mathcal{U} - \sum_{j=1}^T C_j}{\sum_{j=1}^T \Phi_j}. \quad (22)$$

Если числитель и знаменатель полученной формулы разделить на количество произведенной за весь срок

* При уточненных расчетах экономически оптимальной долговечности машины следует учитывать действие фактора времени, т. е. учитывать разновременность, производящихся капитальных вложений и текущих затрат.

службы машины продукции (работы) L , выраженное в натуральных или условных единицах:

$$\vartheta_{Aj} = \frac{\left(\sum_{j=1}^T \mu - \sum_{j=1}^T C_j \right) : L}{\left(\sum_{j=1}^T \Phi_j \right) : L},$$

то формула преобразуется следующим образом:

$$\vartheta_{Aj} = \frac{Z_{\pi} - Z_{ACj}}{Z_{A\Phi j}}, \quad (23)$$

где

$$Z_{\pi} = \frac{\sum_{j=1}^T \mu}{L} \quad (24)$$

— цена единицы продукции;

$$Z_{ACj} = \frac{\sum_{j=1}^T C_j}{L} \quad (25)$$

— средняя за весь срок службы машины себестоимость единицы продукции;

$$Z_{A\Phi j} = \frac{\sum_{j=1}^T \Phi_j}{L} \quad (26)$$

— удельные среднегодовые производственные фонды.

Поскольку разность между ценой Z_{π} и себестоимостью Z_{AC} единицы продукции (работы) представляет собой прибыль на единицу продукции $Z_{A\pi p}$, постольку формулу (23) можно записать в таком виде:

$$\vartheta_{Aj} = \frac{Z_{A\pi p j}}{Z_{A\Phi j}}. \quad (27)$$

Пользоваться формулами (23) или (27) при определении оптимального срока службы машины во многих случаях удобнее, чем формулами (21) или (22), хотя все эти четыре формулы по своей сути идентичны.

Установление зависимости изменения размера производственных фондов от возраста машины при практических расчетах может вызвать довольно большие затруднения. Поэтому в некоторых случаях, в особенности при приближенных расчетах, можно условно принять размер производственных фондов величиной постоянной, т. е. неизменяющейся в течение срока службы машины ($\Phi_j = \Phi_{\text{ср}} = \text{const}$).

Тогда удельная величина производственных фондов $Z_{A\Phi I}$ в среднем за весь срок службы машины может быть определена следующим образом:

$$Z_{A\Phi I} = \frac{\sum_{j=1}^T \Phi_j}{L} = \frac{T}{L} \Phi_{\text{ср}}. \quad (28)$$

Отсюда формулы (22) и (23) можно переписать в следующем виде:

$$\mathcal{E}_{AI} = \frac{\sum_{j=1}^T C_j - \sum_{j=1}^T C_j}{T \Phi_{\text{ср}}}, \quad (29)$$

$$\mathcal{E}_{AI} = \frac{Z_{\text{н}} - Z_{\text{с}}}{\frac{T}{L} \Phi_{\text{ср}}}. \quad (30)$$

В формуле (29) отношение T/L , как уже было показано, представляет собой не что иное, как величину, обратную среднегодовой производительности машины за ее срок службы (L/T).

Таким образом, с помощью выведенных выше формул можно определить средний уровень рентабельности \mathcal{E}_A при любом данном амортизационном сроке службы машины T . Выше также было показано, как определяется себестоимость и размер производственных фондов при различном сроке службы машины, т. е. как определяется значение членов, входящих в формулы рентабельности.

Однако умение определить среднюю рентабельность при любом данном амортизационном сроке службы машины еще не равнозначно определению оптимального ее срока службы, так как количество возможных вариантов срока службы бесконечно велико и, следовательно, просчитать каждый из них и выбрать наилучший практиче-

ски очень трудно или даже невозможно. Следовательно, нужно найти метод, позволяющий с достаточной достоверностью выбрать оптимальный (наилучший) вариант срока службы машины, т. е. обеспечивающий максимальную величину рентабельности.

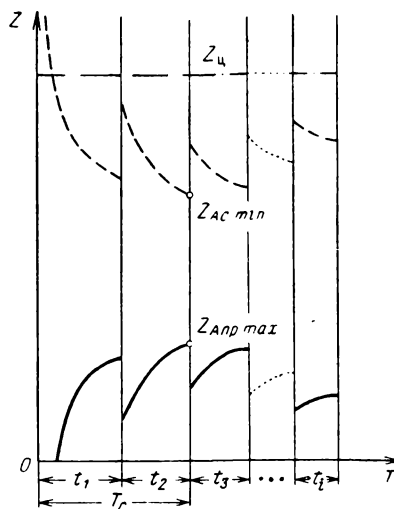


Рис. 15. Изменение удельной прибыли на единицу продукции (работы) в зависимости от срока службы машины:

— удельная прибыль на единицу продукции (работы) $Z_{Aпр}$;
 — — себестоимость единицы продукции (работы) $Z_ц$;

· · · · · цена единицы продукции (работы) $Z_ц$; t_i — продолжительность i -го межремонтного цикла; $T_с$ — срок службы, соответствующий минимальной величине себестоимости единицы продукции (работы).

Для этого прежде всего исследуем изменение отдельных членов в выражении рентабельности (23).

Поскольку изменение себестоимости единицы продукции (работы) машины Z_{ACi} в зависимости от ее срока службы нам известно, можно легко показать изменение прибыли как разности между ценой и себестоимостью:

$$Z_{Aпрi} = Z_ц - Z_{ACi}.$$

На рис. 15 представлено изменение себестоимости Z_{ACi} и удельной прибыли $Z_{Aпрi}$, отнесенных к единице продукции (работы), в зависимости от срока службы машины.

Как видно из рис. 15, удельная величина прибыли является зеркальным отображением величины себестоимости: чем ниже себестоимость, тем больше прибыль и наоборот.

Иными словами, при минимальной величине себестоимости единицы продукции (работы) Z_{Acmin} достигается максимальная величина прибыли от реализации единицы продукции (работы) Z_{Aprmax} .

Цена единицы продукции (работы) машины в наших расчетах принимается величиной постоянной ($Z_c = \text{const}$) в течение всего срока службы*.

Как было показано выше, объем необходимых капитальных вложений в производственные фонды Φ_j [знаменатель выражения (22)] с увеличением срока службы машины возрастает. Больше того, если условно принять, что средняя величина необходимых производственных фондов не изменяется с увеличением возраста машины ($\Phi_j = \Phi_{cp} = \text{const}$), то и в этом случае удельная величина производственных фондов ($Z_{A\Phi} = \frac{T}{L} \Phi_{cp}$) будет возрастать,

так как возрастает отношение T/L , представляющее собой величину, обратную среднегодовой производительности машины.

На рис. 16 представлено изменение удельной величины прибыли (Z_{Apr}) и производственных фондов ($Z_{A\Phi_j}$), а также их отношения, т. е. уровня рентабельности (\mathcal{E}_{Aj}), в зависимости от срока службы машины. Коэффициент рентабельности изображен на рис. 16 в масштабе, отличающемся от масштаба других величин.

Здесь следует обратить внимание на следующее обстоятельство. Обычно при решении экстремальных задач, подобных рассматриваемой, в подавляющем большинстве случаев наблюдается настойчивое стремление заменить дискретные функции путем аппроксимации непрерывными. Объясняется это тем, что оперировать непрерывными функциями значительно проще, чем дискретными.

Однако нет правил без исключений. На наш взгляд, решение задачи определения оптимального срока служ-

* Практически, конечно, возможно изменение цены на продукцию (работу) машины в течение ее срока службы. Но и в этом случае принципиальная сущность излагаемой методики не меняется.

бы машины можно значительно упростить, если отказаться от традиционной аппроксимации дискретных функций в непрерывные, не говоря пока о том, что при этом также повышается точность получаемых результатов, так как уменьшается расхождение между действительным и теоретическим изменением величин.

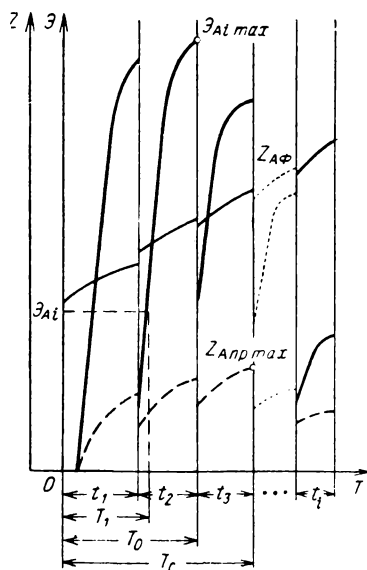


Рис. 16. Изменение уровня рентабельности использования машины \mathcal{E}_{AT} в зависимости от ее срока службы T :

Z_{AF} — средняя удельная величина производственных фондов; Z_{Apr} — средняя удельная величина прибыли; t_i — продолжительность межремонтного цикла; T_c — срок службы, соответствующий максимальной величине удельной прибыли; T_o — оптимальный срок службы машины.

Обратимся снова к рис. 16, на котором представлено изменение среднего от начала эксплуатации машины уровня рентабельности ее работы (\mathcal{E}_{Ai}) в функции ее срока службы. Анализ показывает, что уровень рентабельности с увеличением амортизационного срока службы машины изменяется от цикла к циклу, принимая минимальное значение при сроке службы, несколько превышающем целое число циклов, и максимальное значение

при сроке службы, кратном целому числу межремонтных циклов*.

Очевидно, что срок службы машины, при котором достигается абсолютный максимум, и следует считать оптимальным, так как именно при таком сроке службы достигнут максимальный уровень рентабельности за весь амортизационный срок использования машины.

В рассматриваемом примере (см. рис. 16) абсолютный максимум рентабельности при использовании машины достигается при сроке службы, равном двум циклам эксплуатации $T_0 = t_1 + t_2$, где T_0 — оптимальный срок службы; t_1 , t_2 — величины первого и второго межремонтных циклов.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что оптимальный срок службы машины всегда кратен целому числу межремонтных циклов, так как только при соблюдении этого условия может быть обеспечено достижение максимальной эффективности в использовании машины**.

Этот вывод подтверждается и логически. Ведь совершенно очевидна бессмысленность списания машины вскоре после ее капитального или среднего ремонта, так как в этом случае относительно большие затраты на ремонт не успеют окупиться. Да и на практике вопрос о выбраковке машины всегда решается лишь тогда, когда она по своему техническому состоянию требует проведения очередного капитального или среднего ремонта. Иными словами, фактические сроки службы машин также кратны целому числу межремонтных циклов.

Вывод об обязательной кратности оптимального срока службы машин числу межремонтных циклов имеет важное теоретическое и практическое значение, так как позволяет существенно упростить расчет оптимального

* Все эти выкладки мы проводим в предположении, что межремонтные циклы экономически оптимальны, т. е. капитальные (средние) ремонты проводятся в такие сроки, которые обеспечивают наибольшую, при прочих равных условиях, рентабельность работы машины. Очень сложный, представляющий самостоятельный интерес вопрос об установлении оптимальных величин межремонтных циклов выходит за рамки задач, поставленных в настоящей работе, и требует особого рассмотрения.

** Если машина не подвергается в период своего использования капитальным или средним ремонтам, то оптимальный срок службы такой машины должен быть кратен числу межремонтных периодов, т. е. периодов между плановыми ремонтами.

срока службы машин и вместе с тем добиться большей точности получаемых результатов. Последнее объясняется тем, что оптимальный срок службы, рассчитанный без учета дискретности изменения эксплуатационных расходов и затрат на капитальные (средние) ремонты (кроме снижения точности исходных данных в связи с их аппроксимацией в непрерывные функции), может оказаться некратным числу межремонтных циклов. В этом случае результат необходимо будет «округлить» до целого числа циклов. Если учесть, что для ряда машин число циклов за их срок службы невелико (всего 2—3 цикла), то становится очевидной весьма низкая точность расчета, если «округление» может составлять до 50%.

Из рис. 16 очень наглядно видно, что при сроке службы машины, не совпадающем с целым числом межремонтных циклов, например, равном T_1 , уровень рентабельности будет намного ниже, чем при оптимальном сроке службы T_0 , равном двум циклам, хотя T_1 весьма незначительно отличается от оптимального срока службы T_0 . Именно такой результат может быть получен, если не учитывать дискретность величин, определяющих рентабельность.

Поскольку оптимальный срок службы машины всегда кратен числу межремонтных циклов, то для его установления нет необходимости знать уровень рентабельности и определяющие рентабельность величины, имеющие место при любом данном сроке службы машины. Практически достаточно определить и последовательно сравнить между собой уровень рентабельности, соответствующий сроку службы машины, равному 1, 2, ..., n межремонтным циклам. Число межремонтных циклов, при котором обеспечивается максимальный уровень рентабельности в среднем за весь срок службы машины, и следует считать ее оптимальным сроком службы.

Назовем этот метод определения оптимального срока службы машин *цикловым*.

Если даже функции изменения себестоимости единицы продукции (работы) Z_{Ac} и удельной величины производственных фондов $Z_{A\Phi}$ принять непрерывными, то и в этом случае практически нет необходимости знать все точки кривых, их выражающих, так как достаточно знать значение этих функций в точках, соответствующих срокам службы, кратным числу межремонтных циклов.

Таким образом, рассмотрение неопределенно большого числа возможных вариантов амортизационного срока службы машины и выбор из них одного — наилучшего (оптимального) можно заменить рассмотрением весьма ограниченного числа вариантов, которое, как будет показано ниже, практически всегда даже меньше числа межремонтных циклов за максимально возможный срок службы машины.

Это означает, что во многих случаях нет необходимости отыскивать формулы для решения поставленной задачи в общем виде, так как прямой численный расчет возможных вариантов оптимального срока службы не представляет практически трудности и обеспечивает достаточно точные результаты.

Обязательным условием использования аналитической формулы, выражающей оптимальный срок службы машины, является установление и аналитическое выражение закономерностей изменения себестоимости единицы продукции (работы) и удельной величины производственных фондов в зависимости от срока службы машины. Как известно, установление таких закономерностей, и в особенности их аналитическое выражение, представляет собой практически очень трудоемкую и довольно сложную работу, требующую сравнительно высокой квалификации работников, ее выполняющих. Практически значительно проще и быстрее можно провести расчеты всех возможных вариантов оптимального срока службы машины по предлагаемой методике, чем установить закономерности изменения указанных величин и тем более найти аналитические выражения для их характеристики. При этом далеко не всегда удастся найти достаточно точное аналитическое выражение этих закономерностей, не говоря уже о больших трудностях, возникающих при выведении в общем виде формулы оптимального срока службы машины; зачастую в общем виде решение вообще невозможно найти известными из современной математики способами. Правда, последнее обычно относится к тем случаям, когда делается попытка учесть дискретность функций, определяющих оптимальный срок службы машины.

Таким образом, использование предлагаемой методики избавляет от необходимости устанавливать указанные выше сложные закономерности и позволяет получить

достаточно точные результаты, что, на наш взгляд, является важным ее преимуществом.

Как же практически рассчитать оптимальный срок службы машины, используя рассматриваемую методику?

Напомним, что определение оптимального срока службы при помощи предлагаемой цикловой методики сводится к последовательному расчету и сравнению между собой среднего уровня рентабельности при сроке службы машин, равном 1, 2, ..., n межремонтным циклам. Срок службы, обеспечивающий наибольшую рентабельность эксплуатации машин, и следует считать оптимальным.

Рентабельность можно рассчитывать по формулам (23) или (27), для чего нужно знать значения величин, входящих в эти формулы, т. е. себестоимость единицы продукции (работы) и удельную величину производственных фондов при каждом данном варианте срока службы машины.

Себестоимость единицы продукции (работы) Z_{ACi} определяется по формуле (12), удельная величина производственных фондов $Z_{A\Phi i}$ — по формуле (15).

Определив себестоимость и удельную величину фондов по указанным выше формулам для срока службы машины, равного данному числу межремонтных циклов, подставим их значения в формулу (30):

$$\mathcal{Z}_{Ai} = \frac{S + \sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=2}^n R_{i-1}}{\sum_{i=1}^n l_i} \cdot \frac{\sum_{j=1}^r \phi_j}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (31)$$

После простейших преобразований этого выражения получим формулу для определения уровня рентабельности при различном числе межремонтных циклов за срок службы машины:

$$\vartheta_{Ai} = \frac{Z_{\pi} \sum_{i=1}^n l_i - \left(S_{\pi} + \sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=2}^n R_{i-1} \right)}{\sum_{j=1}^T \Phi_j}. \quad (32)$$

В том случае, если величина производственных фондов принимается постоянной ($\Phi_j = \Phi_{\text{ср}} = \text{const}$), формула (32) несколько изменится:

$$\vartheta_{Ai} = \frac{Z_{\pi} \sum_{i=1}^n l_i - \left(S_{\pi} + \sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=2}^n R_{i-1} \right)}{\Phi_{\text{ср}} \sum_{i=1}^n t_i}. \quad (33)$$

* * *

Ниже будет проиллюстрирована возможность использования изложенной цикловой методики для расчета оптимального срока службы конкретных машин.

Однако прежде чем непосредственно приступить к рассмотрению этих примеров, следует остановиться на некоторых вопросах, которые возникают при практическом применении методики.

Во-первых, для подавляющей части машин, используемых в различных отраслях народного хозяйства, не устанавливаются государственные оптовые цены на их продукцию (работу). Но, как следует из изложенной методики, знание цен является необходимым условием для установления оптимального срока службы машин на основе рентабельности их использования. Исключение составляют транспортные, землеройные машины и машины некоторых других видов, за пользование услугами которых установлены государственные цены или тарифы.

Означает ли это, что рассчитать оптимальный срок службы можно только для тех машин, на продукцию или работу которых установлены государственные цены? Такой вывод был бы поспешным и неправильным. Хотя действительно для точного установления оптимального срока службы машины необходимо знать цену продук-

ции (работы), которая производится с помощью данной машины.

Но несмотря на отсутствие обоснованной цены на продукцию (работу) некоторых машин, все-таки оказывается можно установить верхнюю границу оптимальной долговечности и для этих машин, т. е. найти границу, выше которой использование машины будет явно неэффективно.

Вернемся снова к рассмотрению схемы изменения удельной прибыли и удельной величины производственных фондов в зависимости от срока службы машины, изображенной на рис. 16.

Следует обратить внимание на то, что срок службы машины T_c , соответствующий достижению максимальной удельной прибыли на единицу продукции (работы) $Z_{\text{Апрmax}}$ (или наиболее низкой себестоимости), как раз и является верхней границей возможной величины ее оптимального срока службы:

$$T_0 \leq T_c. \quad (34)$$

Действительно, уровень рентабельности работы машины определяется отношением, в числителе которого находится удельная величина прибыли $Z_{\text{Апр}}$, а в знаменателе — удельная величина фондов $Z_{\text{АФ}}$ [см. формулу (23)]; с увеличением срока службы за пределы T_c рентабельность будет уменьшаться. Объясняется это тем, что числитель дроби $Z_{\text{Апр}}$, достигнув максимального значения, начинает уменьшаться, а знаменатель дроби $Z_{\text{АФ}}$ продолжает увеличиваться и, следовательно, вся дробь будет уменьшаться.

Таким образом, если установить оптовую цену на производимую с помощью данной машины продукцию (работу) не представляется возможным, то определение оптимального срока службы машины следует вести по его верхней границе, соответствующей минимальному значению себестоимости единицы продукции (работы).

На рассматриваемой схеме оптимальный срок службы соответствует двум межремонтным циклам, в то время как верхняя граница равна трем циклам.

Практические расчеты показывают, что в целом ряде случаев оптимальный срок службы и его возможная верхняя граница совпадают. Возможность установления верхней границы оптимального срока службы машины

имеет большое практическое значение, так как при этом не только не сводятся на нет все ранее сделанные исследования по определению сроков службы машин на основе достижения минимальной величины себестоимости, но даже, наоборот, подтверждается их практическая и теоретическая ценность.

Как установить срок службы машины T_c , соответствующий достижению минимальной себестоимости единицы продукции (работы) машины, было показано в предыдущей главе.

* * *

Срок службы машины, соответствующий достижению минимальной себестоимости единицы продукции (работы), T_c является верхней границей оптимального срока службы, рассчитанного в самом первом приближении.

Но эта верхняя граница может быть несколько уточнена, и, следовательно, даже в случае приближенного расчета, вызванного отсутствием оптовой цены на продукцию (работу) машины, можно установить срок службы, который будет по своему значению более близок к оптимальному, чем если бы верхняя граница была установлена на основе достижения минимальной себестоимости.

Рассмотрим теперь, как же можно произвести это уточнение.

Если доказать, что величина некоторого срока службы машины $T_{пз}$, который мы можем определить, не располагая данными о цене единицы продукции (работы) машины, больше оптимального, но меньше срока службы, соответствующего минимальной величине себестоимости, T_c — верхней границы, найденной в первом приближении, т. е.

$$T_0 \leq T_{пз} \leq T_c, \quad (35)$$

то в этом случае за верхнюю границу оптимального срока службы машины можно принять срок службы, обозначенный нами $T_{пз}$. При этом верхняя граница будет найдена более точно, так как соблюдение условия

$$|T_{пз} - T_0| \leq |T_c - T_0|, \quad (36)$$

вытекающего из предыдущего неравенства, означает, что $T_{пз}$ меньше отличается от оптимального срока службы T_0 , чем T_c .

Такой уточненной границей оптимального срока службы машины, как будет показано ниже, может быть срок службы $T_{пз}$, соответствующий достижению минимальной величины приведенных затрат $Z_{Апз}$, приходящихся на единицу продукции (работы) машины за ее срок службы. Удельная величина приведенных затрат $Z_{Апз}$ может быть определена по известной формуле:

$$Z_{Апз} = Z_{АС} + P_n Z_{АФ}, \quad (37)$$

где P_n — нормативный коэффициент эффективности.

Теперь покажем, что срок службы машины $T_{пз}$, соответствующий достижению минимальной величины приведенных затрат, отнесенных на единицу продукции, несколько меньше, чем срок службы T_c , соответствующий минимуму себестоимости, но в то же время не превышает оптимального срока службы T_0 . Иначе говоря, докажем справедливость условий (35) и (36).

На рис. 17 представлена схема изменения удельных издержек производства с учетом нормативной эффективности фондов в зависимости от срока службы машины. Как следует из рисунка, срок службы машины $T_{пз}$, соответствующий достижению их минимальной величины $Z_{Апзmin}$, в общем случае всегда будет меньше, чем срок службы T_c , соответствующий достижению минимальной себестоимости. Объясняется это тем, что к кривой себестоимости $Z_{АС}$ прибавляется возрастающая кривая $P_n Z_{АФ}$, которая замедляет снижение приведенных затрат в начальный период и ускоряет их увеличение в последующем, тем самым отодвигая к началу координат минимальную точку $Z_{пзmin}$ на суммарной кривой. Полученный результат является обязательным при суммировании кривых такого типа.

Таким образом, мы доказали, что $T_{пз} \leq T_c$ и что другого соотношения между этими величинами быть не может. Теперь нужно еще доказать справедливость условия (35), согласно которому $T_0 \leq T_{пз}$, т. е. срок службы машины, соответствующий минимуму приведенных затрат, во всяком случае, не превышает срока службы, соответствующего максимуму рентабельности.

Выполнение такого неравенства можно доказать, используя рассуждения, аналогичные тем, с помощью которых была доказана справедливость неравенства ($T_0 \leq T_c$).

Действительно, верхняя граница оптимального срока службы машины может быть еще уточнена, если ее установить на основе срока службы, соответствующего достижению минимума приведенных затрат или, что то же

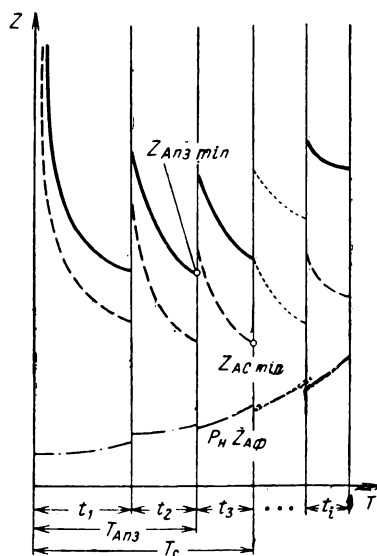


Рис. 17. Изменение удельной величины приведенных затрат в зависимости от срока службы машины:

— удельные приведенные затраты $Z_{Апз}$; — — — себестоимость единицы продукции (работы) $Z_{АС}$; $T_{пз}$ — срок службы машины, соответствующий достижению минимума приведенных затрат на единицу продукции (работы); T_c — срок службы машины, соответствующий достижению минимальной себестоимости единицы продукции (работы).

самое, наибольшей удельной прибыли при включении в издержки производства нормативной эффективности фондов.

В этом случае рентабельность использования машины будем определять по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{Ai} = \frac{Z_{\pi} - (Z_{ACi} + P_n Z_{A\Phi i})}{Z_{A\Phi i}} = \frac{Z_{\pi} - Z_{Апзi}}{Z_{A\Phi i}}, \quad (38)$$

где $Z_{Апзi}$ представляет собой удельную величину приведенных затрат при нормативном коэффициенте эффективности P_n .

Представление издержек производства в виде приведенных затрат, по нашему мнению, в данном случае является вполне методически допустимым, поскольку оптимальный срок службы машины должен обеспечивать эффективность ее использования в совокупности с остальной частью производственных фондов на уровне, не ниже существующего норматива эффективности фондов. Если это условие не соблюдается, т. е. минимум приведенных затрат окажется больше цены на единицу продукции (работы) ($Z_{\text{Апзmin}} > Z_{\text{ц}}$), то это будет означать, что данная машина вообще неэффективна в использовании. Другими словами, при таком подходе верхняя граница оптимального срока службы машины устанавливается не просто на основе максимальной рентабельности, а при условии, что эффективность использования фондов должна быть не ниже существующего норматива эффективности.

Здесь, очевидно, возникнет вопрос о том, как быть в том случае, если разность цены единицы продукции и удельной величины приведенных затрат окажется равной нулю (при минимальном значении приведенных затрат). В этом случае уровень рентабельности, равный нулю, будет максимальным его значением, соответствующим искомой верхней границе оптимального срока службы машины, так как при любых других значениях срока службы рентабельность будет величиной отрицательной. Такой случай практически возможен. Он соответствует случаю совпадения общественно необходимых и индивидуальных затрат на единицу продукции (работы).

В выражении (38) числитель представляет собой чистую прибыль от реализации единицы продукции (работы) машины с учетом нормативной эффективности фондов, а знаменатель — удельную величину производственных фондов.

Принципиальный характер изменения величины прибыли здесь остается тем же, что и на рис. 15, т. е. ее изменение происходит следующим образом: возрастание — максимальная величина — убывание. В то же время с увеличением срока службы машины знаменатель растет.

Следовательно, величина дроби, выражающей рентабельность, после достижения срока службы, соответствующего максимальной величине прибыли, начинает

убывать, так что числитель уменьшается, в то время как знаменатель увеличивается.

Это значит, что оптимальный срок службы машины T_0 не может превышать срока службы $T_{пз}$.

Таким образом, срок службы машины $T_{пз}$, соответствующий достижению минимальной величины приведенных затрат, меньше отличается от оптимального в сторону его превышения и, следовательно, с большей точностью может служить верхней границей оптимального срока службы машины, чем срок службы T_c , соответствующий достижению минимальной себестоимости единицы продукции (работы) машины.

Это значит, что *непревышение срока службы, соответствующего достижению минимума удельной величины приведенных затрат ($Z_{Апзmin}$), является обязательным, но еще недостаточным условием получения максимальной рентабельности при использовании машины.*

Срок службы машины $T_{пз}$, соответствующий минимуму приведенных затрат, можно определить также, используя цикловой метод. Для этого необходимо последовательно определить величину приведенных затрат при различном числе циклов эксплуатации машины за срок службы машины, сравнив полученные результаты, установить, при каком сроке службы достигается их минимальная величина.

Если в выражение (37) удельной величины приведенных затрат подставить значения себестоимости Z_{Ac} [см. формулу (12)] и удельной стоимости фондов $Z_{A\Phi}$ [см. формулу (16)], то выражение (37) можно будет записать так:

$$\bar{Z}_{Апзi} = \frac{S + \sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=2}^n R_{i-1}}{\sum_{i=1}^n l_i} + P_{нL} \frac{T}{L} \Phi_{ср} \quad (39)$$

(обозначения те же, что и в предыдущих формулах).

По формуле (39) и следует вычислять величину приведенных затрат при каждом данном числе циклов эксплуатации за срок службы машины. Сравнив полученные результаты, нетрудно установить, при каком сроке службы машины достигается минимальная величина при-

веденных затрат. Это и будет несколько уточненная верхняя граница оптимального срока службы машины по материальному износу.

* * *

Расчет рентабельности использования машины при различной величине амортизационного срока службы можно произвести по формулам (23) или (38).

Нетрудно показать, что уровень рентабельности, рассчитанный по формуле (38), всегда будет меньше на величину нормативного коэффициента эффективности, чем уровень рентабельности, рассчитанный по формуле (23). Для этого достаточно формулу (38) записать в следующем виде:

$$\mathcal{E}_{Ai} = \frac{Z_{\pi} - Z_{ACi}}{Z_{A\Phi i}} - P_{\pi} \quad (40)$$

и сравнить с формулой (23).

Поскольку нормативный коэффициент эффективности P_{π} является величиной постоянной, то независимо от ее абсолютного значения для получения максимального уровня рентабельности необходимо, чтобы первый член правой части равенства был наибольшей величиной, т. е.

$$\frac{Z_{\pi} - Z_{ACi}}{Z_{A\Phi i}} = \max.$$

Следовательно, независимо от того, исчисляются ли издержки производства по себестоимости или же по приведенным затратам, искомый результат (оптимальный срок службы машины), соответствующий достижению максимальной рентабельности, не изменяется.

Полученный вывод полностью подтверждает правомерность методического подхода, принятого при расчете предельных границ оптимального срока службы машины.

Зачастую практически бывает очень сложно установить величину производственных фондов, используемых для ремонта и обслуживания, в доле, относящейся непосредственно к машине, оптимальный срок службы которой определяется. В этом случае можно было бы ограничиться определением срока службы машины, при котором достигается минимальная величина себестоимости единицы продукции (работы) как его верхней границы, установленной в первом приближении.

Однако и в данном случае верхняя граница может быть несколько уточнена, для этого нужно определить срок службы, соответствующий минимуму приведенных затрат, устанавливая последние не на основе полной суммы производственных фондов Φ_j , необходимых для функционирования данной машины (что было бы более правильно), а только на основе стоимости самой машины S , срок службы которой определяется.

Что касается стоимости машины, то эта величина, разумеется, должна быть известна, так как в противном случае вообще нельзя рассчитать срок ее службы.

В связи с тем, что установление изменения величины потребных капитальных вложений в основные и оборотные фонды в зависимости от долговечности машины требует специальных, довольно сложных и трудоемких расчетов, то при приближенном установлении границ оптимального срока службы машин объем капитальных вложений в производственные фонды можно принять равным стоимости машины. Хотя в этом случае капитальные вложения в производственные фонды будут учтены неполностью, полученные результаты будут ближе к действительности, чем при расчете оптимального срока службы машины по минимуму себестоимости единицы продукции (работы) вообще без учета потребных капитальных вложений.

Полную величину производственных фондов Φ_j можно, как было показано в гл. III, определить и приближенно.

Из этого следует, что при установлении верхней границы оптимальной долговечности машины практически почти всегда можно ориентироваться на срок службы, соответствующий минимуму приведенных затрат.

Но этот вывод ни в коем случае не следует понимать в том смысле, что определение срока службы машины, обеспечивающего минимальную себестоимость, теряет практический интерес. Такое заключение было бы совершенно неверным.

Поскольку экономическая наука еще не дала окончательного ответа ни по вопросу об установлении нормативного коэффициента эффективности P_n , необходимого для определения величины приведенных затрат, ни по установлению цен, отражающих общественно необходимые затраты, вывод о том, что срок службы машины,

соответствующий получению минимума себестоимости единицы продукции, является верхней границей возможного оптимального срока службы машины, приобретает особо важное практическое значение. Если к тому же добавить, что моральный износ сокращает оптимальный срок службы машины, обусловливаемый ее материальным износом, а фактические сроки службы машин во всех отраслях народного хозяйства в подавляющем большинстве случаев значительно превышают сроки службы, соответствующие получению минимальной себестоимости, то становится очевидным вся важность установления, на первых порах, хотя бы верхней границы долговечности машин. Особенно важное значение это имеет в настоящее время, когда согласно решениям сентябрьского Пленума ЦК КПСС (1965 г.) предприятия имеют право самостоятельно решать вопрос о выбраковке оборудования и машин.

На ряде конкретных примеров будет показано, как практически определить оптимальную долговечность машин по предлагаемой цикловой методике (см. гл. VII).

Глава VI

ЦИКЛОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ МАШИН С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ МОРАЛЬНОГО ИЗНОСА

Не только материальный износ (материальное снашивание), но и моральный износ (технический прогресс) оказывает существенное влияние на сроки службы машин. Карл Маркс писал: «...кроме материального снашивания машина подвергается, так сказать, и моральному снашиванию. Она утрачивает меновую стоимость, по мере того как машины такой же конструкции начинают воспроизводиться дешевле или лучшие машины вступают с ней в конкуренцию»*.

Напомним, что К. Маркс различал две формы морального износа машин.

Первая форма — это результат удешевления производства новых машин, обладающих теми же конструк-

* К. Маркс. Капитал, т. 1, 1955, стр. 410.

тивными свойствами и эксплуатационными показателями, что и существующие машины.

Вторая форма — это следствие выпуска новых, более производительных и экономичных машин или следствие замены данного конкретного вида производства новым, более экономичным.

Для того чтобы правильно решить вопрос о влиянии морального износа на сроки службы машин, рассмотрим влияние каждой его формы в отдельности.

В результате проявления морального износа первой формы происходит снижение стоимости воспроизводства функционирующей машины. Но снижение стоимости машины означает и соответствующее снижение стоимости запасных частей (используемых при ремонте), изготавливаемых той же отраслью машиностроения. А по существующему порядку в затраты на ремонты входит стоимость запасных частей. Следовательно, снижение их стоимости означает снижение стоимости ремонта.

Кроме того, в ремонтном производстве и в технической эксплуатации также осуществляется непрерывный технический прогресс, который удешевляет содержание машины. Естественно, что изменение соотношений между стоимостью машины, стоимостью ее капитального ремонта, эксплуатационными расходами оказывает непосредственное влияние на срок службы машины.

Таким образом, моральный износ первой формы, оказывая влияние и на стоимость производства, и на стоимость содержания машин, изменяет ее срок службы [18, 19, 21]. При этом удешевление содержания машины увеличивает ее срок службы, в то время как снижение стоимости воспроизводства машины его уменьшает. Иначе говоря, моральный износ первой формы оказывает разнонаправленное влияние на срок службы машины.

Практически моральный износ первой формы сокращает срок службы машины, так как уменьшение ее стоимости происходит более быстрыми темпами, чем удешевление ее содержания. Это объясняется, как правило, более высокими темпами технического прогресса в машиностроении, чем в ремонтном производстве и в службах технической эксплуатации. При снижении стоимости машины в большей степени, чем расходов по ее содержанию (включая затраты на капитальные ремонты), соблюдение условий экономической эффективности капиталъ-

ного ремонта нарушается быстрее и, следовательно, экономически оптимальный срок службы машины сокращается.

Моральный износ второй формы возникает потому, что создаются более совершенные машины, способные производить продукцию при более низких издержках, чем функционирующая машина. Это делает менее выгодным использование действующего парка машин и поэтому обесценивает их и сокращает срок службы. Однако было бы совершенно неправильно полагать, что появление новой усовершенствованной машины означает необходимость немедленного вывода из эксплуатации каждой функционирующей машины.

На практике очень часто физически износившаяся машина должна заменяться новой, той же конструкции, так как более совершенных машин данного назначения к этому времени промышленность или вообще не выпускает, или выпускает, но в количествах, недостаточных для полного удовлетворения потребности народного хозяйства. Иными словами, сюда относятся случаи, когда период смены моделей машины в производстве превышает оптимальный срок их службы, установленный по материальному износу.

Некоторые авторы считают, что срок службы машины по материальному износу меньше, чем по моральному, и, следовательно, последний в этих случаях не сокращает оптимального срока службы машины, установленного по материальному износу.

Действительно, такое положение может иметь место, если считать, что влияния на срок службы, с одной стороны, снижения стоимости воспроизводства машин, а с другой стороны, технического прогресса в ремонтном производстве и эксплуатации взаимно компенсируются, но только до тех пор, пока не появится реальная возможность замены стареющей машины новой, технически и экономически более совершенной. Теперь уже оптимальный срок службы стареющей машины, рассчитанный с учетом влияния морального износа, всегда будет меньше, чем срок службы, установленный по материальному износу.

Однако следует всегда помнить, что, независимо от темпов технического прогресса в данный период времени, влияние морального износа на оптимальный срок

службы машины, установленный по материальному износу, не может выразиться в его увеличении.

Известно, что действие морального износа проявляется во времени. Следовательно, для того чтобы уменьшить потери от морального износа в народном хозяйстве, необходимо всемерно повышать интенсивность и экстенсивность использования машин.

На это обстоятельство указывал К. Маркс: «Чем короче период, в течение которого воспроизводится вся ее (машины — Р. К.) стоимость, тем меньше опасность морального снашивания, а чем длиннее рабочий день, тем короче этот период»*.

* * *

Как же определить оптимальную долговечность машины с учетом морального износа?

Представим себе совершенно конкретную задачу, весьма часто встречающуюся в нашей повседневной практике.

Предположим, что в эксплуатации находится машина модели № 1, для которой был установлен экономически оптимальный срок службы по материальному износу, равный T' годам, что соответствует n' межремонтным циклам и L' единицам работы или продукции.

Уровень рентабельности использования машины модели № 1 при соблюдении этого срока службы равен $\mathcal{E}_{T'}$. Допустим далее, что промышленностью выпускается новая машина модели № 2 того же назначения, но обеспечивающая благодаря конструктивным усовершенствованиям более высокий уровень рентабельности:

$$\mathcal{E}_{T'} < \mathcal{E}_{T''}. \quad (41)$$

Использование новой, более совершенной машины модели № 2 позволяет производить ту же продукцию (работу) при более высоком уровне рентабельности, чем при использовании устаревающей машины модели № 1. Но это еще совсем не означает, что немедленная замена машины модели № 1 машиной модели № 2 будет всегда экономически эффективна.

* К. Маркс. Капитал, т. 1, М. 1954, стр. 410.

Необходимо установить, когда осуществление такой замены будет наиболее эффективно с народнохозяйственной точки зрения. Иными словами, необходимо определить оптимальный срок службы машины модели № 1 с учетом влияния морального износа*.

Для решения этого вопроса нужно прежде всего установить критерий, при достижении которого можно было бы считать срок службы машины оптимальным с учетом материального и морального износа.

Таким критерием, по нашему мнению, является достижение максимального уровня рентабельности за совокупный срок службы стареющей и новой машин. Другими словами, *оптимальным сроком службы машины с учетом материального и морального износа можно считать такой срок службы, при котором последовательная эксплуатация стареющей машины, а затем новой обеспечит максимальную рентабельность их использования за совокупный срок службы.*

Уровень рентабельности, который обеспечивается при последовательной эксплуатации машин моделей № 1 и № 2, может быть определен как отношение суммы чистой прибыли, полученной за весь совокупный срок службы обеих машин, к сумме стоимости годовых фондов, использовавшихся при их эксплуатации:

$$\mathcal{R}_{T'+T''} = \frac{\sum_{j=1}^{T'} M'_j + \sum_{j=1}^{T''} M''_j}{\sum_{j=1}^{T'} \Phi'_j + \sum_{j=1}^{T''} \Phi''_j}, \quad (42)$$

где соответственно для машин модели № 1 и модели № 2: M'_j , M''_j — годовая чистая прибыль в j -й год эксплуатации; Φ'_j , Φ''_j — годовая величина производственных фондов в j -й год эксплуатации; T' , T'' — срок службы в годах.

Естественно, для того чтобы установить целесообразную корректировку срока службы стареющей машины модели № 1 под влиянием морального износа, необходи-

* При этом считается, что машина модели № 1 была уже приобретена и введена в эксплуатацию, только после чего появилась машина модели № 2. Если же это условие не соблюдается, то вопрос сводится к простому выбору лучшей из этих двух моделей машины.

мо знать экономические характеристики новой машины модели № 2 даже в том случае, если последняя еще только проектируется. Без этого решение вопроса о влиянии морального износа на срок службы машины перейдет из области конкретных расчетов в область абстрактных рассуждений.

Для новой машины (модели № 2) в первую очередь должны быть известны средняя величина себестоимости единицы продукции (работы) Z''_{AC} и ее нормативный срок службы, выраженный как в календарном времени T''_0 , так и в условных или натуральных единицах продукции (работы) L''_0 .

Если чистую прибыль выразить как разность цены Z_{π} и себестоимости Z_{AC} единицы продукции или работы, а фонды — через их удельную величину Z_{AF} , то формулу (42) можно переписать так:

$$\mathcal{E}_{T'+T''} = \frac{(Z_{\pi} - Z'_{AC})L' + (Z_{\pi} - Z''_{AC})L''_0}{Z'_{AF}L' + Z''_{AF}L''_0}. \quad (43)$$

Поскольку входящие в равенство (43) экономические параметры машины модели № 2 соответствуют установленному для нее оптимальному сроку службы, постольку при решении данной задачи их можно рассматривать как постоянные величины.

Исходя из этого введем следующие обозначения:

$$A = \sum_{i=1}^{T''} M''_i = (Z_{\pi} - Z''_{AC})L''_0 = \text{const}, \quad (44)$$

$$B = \sum_{i=1}^{T''} \Phi_i = Z''_{AF}L''_0 = \text{const}. \quad (45)$$

Теперь формулу (43) можно переписать так:

$$\mathcal{E}_{T'+T''} = \frac{(Z_{\pi} - Z'_{AC})L' + A}{Z'_{AF}L' + B} = \frac{Z'_{A\text{пр}}L' + A}{Z'_{AF}L' + B}, \quad (46)$$

где $Z'_{A\text{пр}}$ — средняя удельная прибыль на единицу продукции или работы при эксплуатации машины № 1 в течение ее срока службы.

Разделив числитель и знаменатель равенства (46) на L' , получим

$$\mathcal{E}_{T'+T''} = \frac{Z'_{\text{Апр}} + \frac{A}{L'}}{Z'_{\text{АФ}} + \frac{B}{L'}}. \quad (47)$$

Как было показано выше, оптимальный срок службы машины по материальному износу всегда кратен числу межремонтных циклов, так как в противном случае не будет соблюдено условие достижения наибольшей рентабельности ее использования. Это правило не теряет своей силы и при определении оптимального срока службы машины с учетом влияния морального износа. Последний, как известно, вызывает сокращение срока службы машины, которое может выразиться в уменьшении числа межремонтных циклов за срок службы.

Действительно, независимо от того, заменяется стареющая машина новой такой же модели или более совершенной, замену нецелесообразно производить вскоре после капитального (среднего) ремонта, вместо того, чтобы заменить ее в период, непосредственно предшествующий этому ремонту.

Таким образом, оптимальный срок службы машины, определяемый с учетом материального и морального износов, также складывается из целого числа циклов эксплуатации. Это значит, что его определение также можно произвести, используя цикловой метод. Решение можно свести к определению уровня рентабельности $\mathcal{E}_{T'+T''}$ при сроке службы машины модели № 1, последовательно равном 1, 2, 3, ..., n циклам. Для этого в формулу (47) нужно подставить значения всех входящих в нее величин, соответствующих каждому данному числу циклов эксплуатации за срок службы машины.

Вопрос о том, как определять эти величины, достаточно подробно был освещен при исследовании изменения себестоимости и производственных фондов в зависимости от амортизационного срока службы машины. При этом число циклов и, следовательно, число вариантов расчета не будет превышать число циклов, соответствующее оптимальному сроку службы машины по материальному износу, так как срок службы с учетом морального износа всегда меньше или равен последнему.

Согласно сформулированному выше условию, число межремонтных циклов, при котором будет обеспечен наиболее высокий уровень рентабельности ($\exists_{T' + T''} = \max$), и следует считать оптимальным сроком службы машины № 1 с учетом влияния морального износа, т. е. в связи с появлением экономически более совершенной машины модели № 2.

Если при замене стареющей машины можно выбирать из нескольких новых моделей, то следует произвести аналогичные расчеты для каждого варианта замены, чтобы установить, какая модель обеспечит наибольшую рентабельность за совокупный срок службы.

* * *

По тем же причинам, которые были освещены при рассмотрении цикловой методики определения оптимального срока службы машины по материальному износу, если неизвестны цена единицы продукции (работы) машины или величина потребных производственных фондов, или то и другое вместе, может оказаться невозможным установить оптимальный срок службы машины с учетом влияния морального износа на основе изменения уровня рентабельности или даже уровня приведенных затрат.

Поскольку как для машины модели № 1, так и для машины модели № 2, т. е. для каждой машины в отдельности, достижение минимума себестоимости (а еще лучше минимума приведенных затрат) означает достижение верхней границы оптимального срока службы по материальному износу, постольку на основе достижения минимума себестоимости (приведенных затрат) за совокупный срок эксплуатации обеих машин можно установить верхнюю границу оптимального срока службы машины модели № 1 с учетом материального и морального износа.

Величина приведенных затрат $Z_{\text{Апз}}^{(T' + T'')}$ за совокупный срок службы обеих машин $T' + T''$ будет равна величине этих затрат по каждой машине ($Z'_{\text{Апз}}$; $Z''_{\text{Апз}}$), взвешенных по ее сроку службы, измеренному количеством продукции (работы):

$$Z_{\text{Апз}}^{(T' + T'')} = \frac{Z'_{\text{Апз}} L' + Z''_{\text{Апз}} L''}{L' + L''}. \quad (48)$$

Определяя последовательно величину приведенных затрат при различном числе циклов эксплуатации за срок службы машины модели № 1 и сравнивая полученные результаты, можно установить ее срок службы, обеспечивающий достижение минимальной величины приведенных затрат. Этот срок службы может служить верхней границей оптимальной долговечности машины, установленной по материальному и моральному износу.

Совершенно аналогичным путем можно определить и срок службы машины модели № 1, соответствующий достижению минимальной себестоимости единицы продукции (работы) $Z_{AC(T'+T'')}$ при последовательном использовании заменяемой и новой машин:

$$Z_{AC(T'+T'')} = \frac{Z'_{AC}L' + Z''_{AC}L''}{L' + L''}. \quad (49)$$

Необходимо помнить, что срок службы, установленный на основе минимума приведенных затрат, будет несколько ближе к оптимальному, чем срок службы, установленный по минимуму себестоимости.

Разумеется и в этих расчетах нормативный срок службы новой машины и соответствующие ему удельные приведенные затраты и себестоимость единицы продукции приняты постоянными величинами.

Таким образом, с помощью циклового метода сравнительно просто можно определить оптимальный срок службы машины с учетом одновременного влияния материального и морального износа.

* * *

В отдельные периоды времени нехватка машин данного назначения может вызвать необходимость их эксплуатации за пределами оптимального срока службы, что с народнохозяйственной точки зрения может оказаться более рациональным, чем выбраковка машин в оптимальный срок без обеспечения их замены новыми.

Кроме того, достижение установленного для данной машины оптимального срока службы в условиях ограниченности средств, предназначенных для капитальных вложений, практически еще не может означать необходимость немедленной замены данной машины, так как вполне возможно, что для данного предприятия замена какой-то другой машины окажется более целесообразной.

Однако необходимость в отдельных случаях использовать машины за пределами оптимального срока службы, совсем не означает, как это может показаться на первый взгляд, что установление оптимальной долговечности машин вообще теряет практический смысл.

Во-первых, замена машины до достижения оптимального срока службы является во всех без исключения случаях явно нецелесообразной. Это значит, что установленный расчетом оптимальный срок службы машины всегда может служить ориентиром для проверки целесообразности ее дальнейшей эксплуатации.

Во-вторых, для полной характеристики качества машины нужно знать ее долговечность, т. е. оптимальный срок службы, как объективный показатель качества, свободный от влияния субъективных факторов. Так, например, нельзя считать, что долговечность данной машины равна 30 годам, на том основании, что в течение этого периода времени не будет реальной возможности заменить ее новой. В этом случае рациональный срок службы машины будет равен 30 годам, хотя он может в несколько раз превышать оптимальный срок службы, установленный расчетом для данной машины.

Все это подтверждает необходимость и целесообразность определения экономически оптимальных сроков службы машин.

Глава VII

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ МАШИН

Проиллюстрируем возможность практического использования изложенной выше цикловой методики определения оптимальной долговечности машин на нескольких конкретных примерах.

Но прежде напомним, что при практических расчетах оптимальных сроков службы машин возникают трудности, связанные с необходимостью иметь научно обоснованные цены на единицу продукции (работы) этих машин. Отсутствие таких данных не позволяет точно рассчитать оптимальный срок службы машины, и в этих случаях устанавливается его верхняя граница, соответ-

ствующая достижению минимума приведенных затрат или в самом первом приближении достижению минимума себестоимости единицы продукции (работы) машины. Однако и установить верхнюю границу по минимуму приведенных затрат также затруднительно из-за отсутствия окончательного установившегося мнения по научному обоснованию размеров нормативного коэффициента эффективности.

Все это, по нашему мнению, указывает на необходимость практически в первую очередь определять самую верхнюю границу оптимального срока службы машин по минимуму себестоимости единицы продукции (работы) с последующим ее уточнением, если окажется возможным получить все исходные данные, необходимые для такого расчета.

В соответствии с этим и производились расчеты в приведенных ниже примерах, т. е. сначала определялась верхняя граница оптимального срока службы машины, а затем она уточнялась, разумеется, при условии наличия необходимых исходных данных.

Здесь следует отметить, что, как показали исследования, для большей части машин и оборудования, используемого в различных отраслях народного хозяйства, практически не соблюдается даже верхняя (предельная) граница оптимального срока службы, соответствующая достижению минимума себестоимости единицы продукции (работы) машины, что также подтверждает необходимость практически знать верхнюю границу — хотя бы в первом приближении. Кроме того, расчет верхней границы оптимального срока службы машин наиболее прост и вполне доступен для широкого практического использования даже непосредственно на предприятиях.

При установлении оптимального срока службы машин возникают трудности и другого порядка, связанные с определением фактических эксплуатационных расходов, включая затраты на капитальные ремонты, в каждом межремонтном цикле, ввиду явно неудовлетворительного состояния учета этих расходов, а также учета использования машин и оборудования, существующих в большинстве отраслей народного хозяйства.

Наиболее существенное влияние на оптимальный срок службы для большей части машин оказывают расходы на ремонт и межремонтное обслуживание, величина ко-

торых значительно повышается с увеличением общего срока службы машины. Следовательно, для определения срока службы машины нужно располагать в первую очередь фактическими данными о ремонтных затратах на каждом межремонтном цикле и данными о их продолжительности, измеряемой в календарном времени и в количестве продукции (работы), произведенной за каждый межремонтный цикл.

Однако и фактические имеющиеся на предприятиях учетные данные, а также данные, полученные путем особым образом поставленных наблюдений, все-таки позволяют решать вопрос оптимизации долговечности машин.

В рассмотренных ниже примерах определения оптимального срока службы машин использовались фактические данные о продолжительности межремонтных циклов и издержках по их эксплуатации.

Следует указать, что в тех случаях, когда верхняя граница оптимальной долговечности машины по материальному износу устанавливается на основе достижения минимума себестоимости единицы продукции (работы), можно не находить изменение полной величины последней, а ограничиться определением величины себестоимости лишь по тем составляющим, которые изменяются в зависимости от изменения амортизационного срока службы машин. Результат будет совершенно одинаков, так как включение всех составляющих элементов в себестоимость окажет влияние лишь на ее абсолютную величину, но не на характер изменения ее в зависимости от срока службы, а отсюда и на положение точки минимума.

В соответствии с этим в тех примерах, где определяется верхняя граница оптимального срока службы, величина себестоимости определяется только по изменяющимся элементам.

Пример 1. Определить оптимальный срок службы автомобиля ЗИЛ-150 по материальному износу при следующих условиях.

Оптовая цена автомобиля без шин, без ликвидационной стоимости $S=910$ руб. Стоимость его капитального ремонта, также без стоимости ремонта шин, $R=710$ руб. При этом стоимость капитального ремонта (из-за отсутствия данных) условно принимается величиной постоянной независимо от порядкового номера капитального

ремонта. Тариф за 1 км пробега автомобиля $Z_{\text{ц}}=13 \text{ коп/км}$. Среднегодовая величина производственных фондов $\Phi_{\text{ср}}=2800 \text{ руб.}$ Нормативный коэффициент эффективности $P_{\text{н}}=0,15$. Другие исходные данные, необходимые для расчета, сведены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные для расчета оптимального срока службы автомобиля ЗИЛ-150

Номер цикла	Продолжительность межремонтного цикла		Срок службы автомобиля		Издержки по эксплуатации в отдельных циклах, руб.					
	в годах	в тыс. км пробега	в годах	в тыс. км пробега	Зарплата водителей	Горячее и смазка	Амортизация и ремонт шин	Текущий ремонт и обслуживание*	Накладные расходы	Итого
1	4	158,2	4	158,2	4746	3370	2563	2245	2600	15 524
2	3	90,9	7	249,1	2727	1935	1473	1571	1950	9656
3	3	90,9	10	340,0	2727	1935	1473	1571	1950	9656

* В расходы по текущему ремонту и обслуживанию включены затраты на капитальный ремонт агрегатов автомобиля.

Поскольку автомобили подвергаются обезличиванию при капитальном ремонте, пробег и эксплуатационные затраты в межремонтных циклах после первого приняты постоянными ($l_1 \neq l_2 = l_3 = \dots = l_i = \dots = l_{\text{кр}} = \text{const}$; $E_1 \neq E_2 = E_3 = \dots = E_i = \dots = E_{\text{кр}} = \text{const}$).

Вначале (как было обусловлено выше) определим срок службы автомобиля ЗИЛ-150, обеспечивающий получение минимальной себестоимости 1 км пробега.

Себестоимость 1 км пробега определим по формуле (12) (см. гл. III):

при сроке службы, равном одному циклу,

$$Z_{\text{AC1}} = \frac{S + E_1}{l_1} = \frac{(910 + 15524) 100}{158,2 \cdot 1000} = 10,4 \text{ коп/км};$$

при сроке службы, равном двум циклам,

$$Z_{\text{AC2}} = \frac{S + E_1 + R_1 + E_2}{l_1 + l_2} = \frac{(910 + 15524 + 710 + 9656) 100}{(158,2 + 90,9) 1000} = 10,8 \text{ коп/км};$$

при сроке службы, равном трем циклам,

$$Z_{AC3} = 11,0 \text{ коп/км.}$$

Как показывает расчет, наиболее низкая себестоимость 1 тыс. км пробега автомобиля ЗИЛ-150 достигается при сроке службы последнего, ограниченном первым циклом, т. е. периодом эксплуатации до наступления потребности в первом капитальном ремонте.

Определим теперь удельную величину приведенных затрат $Z_{Апз}$ последовательно при сроке службы автомобиля ЗИЛ-150, равном одному, двум и трем циклам [см. формулу (39)].

Удельная величина приведенных затрат при сроке службы, равном одному циклу,

$$\begin{aligned} Z_{Апз1} &= Z_{AC1} + P_n \frac{t_1}{l_1} \Phi_{cp} = 10,40 + 0,15 \cdot 2800 \frac{4 \cdot 100}{158,2 \cdot 1000} = \\ &= 10,40 + 1,06 = 11,46 \text{ коп/км.} \end{aligned}$$

Соответствующие значения величины себестоимости можно взять из предыдущего расчета.

Аналогично при сроке службы, равном двум и трем циклам:

$$\begin{aligned} Z_{Апз2} &= Z_{AC2} + P_n \Phi_{cp} \frac{t_1 + t_2}{l_1 + l_2} = \\ &= 10,8 + 0,15 \cdot 2800 \frac{100(4 + 3)}{(158,2 + 90,9) \cdot 1000} = 10,8 + 1,18 = \\ &= 11,98 \text{ коп/км,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{Апз3} &= Z_{AC3} + P_n \Phi_{cp} \frac{t_1 + t_2 + t_3}{l_1 + l_2 + l_3} = \\ &= 11,00 + 0,15 \cdot 2800 \frac{100(4 + 3 + 3)}{(158,2 + 90,9 + 90,9) 1000} = \\ &= 11,00 + 1,23 = 12,23 \text{ коп/км.} \end{aligned}$$

Как следует из полученных данных, минимальное значение удельной величины приведенных затрат обеспечивается также при сроке службы автомобиля ЗИЛ-150, равном одному межремонтному циклу.

Определим теперь оптимальный срок службы автомобиля ЗИЛ-150 на основе уровня рентабельности его

использования. Для этого воспользуемся формулой (30).

Тогда рентабельность использования автомобиля ЗИЛ-150 будет при сроке службы, равном одному циклу:

$$\mathcal{E}_{A1} = \frac{Z_{\Pi} - Z_{AC1}}{\frac{t_1}{l_1} \Phi_{cp}} = \frac{13,0 - 10,4}{\frac{4}{158,2 \cdot 1000} \cdot 2800 \cdot 100} = 0,366;$$

при сроке службы, равном двум циклам:

$$\mathcal{E}_{A2} = \frac{Z_{\Pi} - Z_{AC2}}{\frac{t_1 + t_2}{l_1 + l_2} \Phi_{cp}} = \frac{13,0 - 10,8}{\frac{4 + 3}{(158,2 + 90,9) \cdot 1000} \cdot 2800 \cdot 100} = 0,280;$$

при сроке службы, равном трем циклам:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{A3} &= \frac{Z_{\Pi} - Z_{AC3}}{\frac{t_1 + t_2 + t_3}{l_1 + l_2 + l_3} \Phi_{cp}} = \frac{13,0 - 11,0}{\frac{(4 + 3 + 3) 100}{(158,2 + 90,9 + 90,9) 1000} \cdot 2800} = \\ &= 0,243. \end{aligned}$$

Расчет показывает, что при данных условиях оптимальный срок службы автомобиля ЗИЛ-150 находится в пределах первого межремонтного цикла.

В рассматриваемом примере верхняя граница оптимального срока службы, установленная по минимуму себестоимости T_c — первое приближение, как и установленная по минимуму приведенных затрат $T_{пз}$ — второе приближение, совпадает с оптимальным сроком службы автомобиля T_0 , рассчитанным на основе рентабельности ($T_c = T_{пз} = T_0$).

В этом примере достаточно было рассчитать срок службы автомобиля (T_c), соответствующий минимальной себестоимости, чтобы прийти к выводу о том, что он совпадает с оптимальным сроком службы (T_0), так как верхняя граница и точное значение оптимального срока службы могут или совпадать, или отличаться по величине на один межремонтный цикл. Поскольку верхняя граница равна одному первому циклу, то здесь возможно только совпадение, так как в противном случае оптимальный срок службы был бы равен нулю, что противоречит здравому смыслу. Нельзя обеспечить наибольшую рентабельность от использования машины, если ее

срок службы равен нулю, т. е. машина совсем не используется.

Пример 2. Определить верхнюю границу оптимального срока службы бульдозера Д-271, если затраты на приобретение бульдозера Д-271 за вычетом его ликвидационной стоимости составляют $S=3871$ руб. Остальные исходные данные, необходимые для расчета, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Исходные данные для расчета долговечности бульдозера модели Д-271

Номер цикла	Исходные данные			Средняя себестоимость 1 тыс. м³ от начала эксплуатации Z_{ACi} , руб./тыс. м³
	Продолжи- тельность цикла l_i , тыс. м³	Эксплуатационные расходы за цикл, руб.		
		всего $E_i + R_i$	в том числе на ремонт R_i	
1	24,00	3300	—	299
2	22,05	3753	288,6	237
3	22,05	5449	1984,6	240
4	22,05	4580	1115,7	232
5	22,05	4916	1451,7	230
6	22,05	5642	2177,8	234

Примечание. Исходные данные взяты из книги Р. М. Петухова [6, стр. 25].

Подставляя в формулу (12) значения входящих в нее величин из табл. 4, определим себестоимость 1 тыс. м³ грунта при различных сроках службы бульдозера:

при сроке службы, равном одному циклу,

$$Z_{AC1} = \frac{S + E_1}{l_1} = \frac{3871 + 3300}{24,0} = 299 \text{ руб./тыс. м}^3;$$

при сроке службы, равном двум циклам,

$$Z_{AC2} = \frac{S + E_1 + R_1 + E_2}{l_1 + l_2} = \frac{3871 + 3300 + 3753}{24,0 + 22,05} = 237 \text{ руб./тыс. м}^3.$$

Аналогичным путем была установлена себестоимость 1 тыс. м³ грунта при большем сроке службы бульдозера. Полученные результаты приведены в табл. 4.

Сравнение себестоимости показывает, что наиболее низкая ее величина обеспечивается в данном случае при сроке службы бульдозера, равном 5 циклам ($Z_{ACmin} = Z_{AC5} = 230$ руб./тыс. m^3), что соответствует 22 500 маш.-час.

Но это только верхняя граница оптимального срока службы бульдозера Д-271, установленная в самом первом приближении.

* * *

Ниже рассмотрим примеры расчета оптимальных сроков службы для нескольких видов машиностроительного оборудования. Но прежде чем непосредственно перейти к этим примерам, коротко остановимся на использовавшихся в них данных.

На многих машиностроительных заводах имеются сведения по каждой единице оборудования от начала ее эксплуатации, отражающие фактическую структуру и продолжительность ремонтных циклов. Это позволяет установить фактические затраты на плановые ремонты в каждом межремонтном цикле и их продолжительность в фактически отработанных машино-месяцах, машино-днях или даже машино-часах*.

В табл. 5 приведены данные, характеризующие рост расходов на плановые ремонты для нескольких видов машиностроительного оборудования в абсолютном выражении и по отношению к затратам на приобретение машины, а также изменение удельных затрат на плановые ремонты, приходящиеся на один месяц работы машины в зависимости от ее срока службы.

Как следует из данных табл. 5, с увеличением срока службы затраты на ремонт значительно возрастают, что особенно хорошо видно при рассмотрении изменения себестоимости одного месяца работы по этим затратам.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что

* При определении расходов на ремонт следует предостеречь от часто допускаемой ошибки, которая заключается в том, что затраты на первый капитальный ремонт включаются в ремонтные расходы первого межремонтного цикла, хотя это совершенно неправомерно. Ведь если бы срок службы машины был равен одному первому циклу, то машина эксплуатировалась бы без капитального ремонта. Нельзя включать затраты на второй капитальный ремонт в ремонтные расходы второго цикла и т. д.

Таблица 5

**Рост затрат на плановые ремонты оборудования в зависимости от срока службы
(в среднем на 1 машину)**

Наименование оборудования и место использования	Количество единиц в группе	Показа- тели	Срок службы в условных межремонтных циклах							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Станок 1А62, Харьковский тракторный завод	116	Σr_i	235	640	1083	1497	1912	2371	2900	3464
		$\Sigma r_i : S$	26,0	72,0	121,0	168,0	215,0	266,0	325,0	390,0
		Z_{AP}	5,59	9,15	11,50	12,70	13,80	14,40	15,30	16,90
Станок 1А62, Завод „Серп и молот“	117	Σr_i	102	641	1118	1633	2123	2637	3118	3574
		$\Sigma r_i : S$	11,0	72,0	131,0	183,0	238,0	296,0	350,0	400,0
		Z_{AP}	3,65	11,01	13,96	16,13	16,95	18,00	19,00	19,10
Станок 1К62, Харьковский тракторный завод	21	Σr_i	234	685	1054	Нет данных				
		$\Sigma r_i : S$	17,0	49,0	75,0					
		Z_{AP}	6,00	10,87	12,55					
Станок 1К62, Завод „Серп и молот“	16	Σr_i	145	619	1038	1661	2112	2563	Нет данных	
		$\Sigma r_i : S$	10,0	44,0	71,0	118,0	150,0	183,0		
		Z_{AP}	4,78	9,99	11,80	14,57	14,10	15,40		
Формовочная машина, Модель 242, Завод „Серп и молот“	9	Σr_i	1204	3414	5240	6622	7864	9393	11144	14248
		$\Sigma r_i : S$	164,0	462,0	714,0	900,0	106,5	1270,0	1510,0	1940,0
		Z_{AP}	27,90	54,20	64,00	66,22	69,00	75,10	81,20	95,00
Молот штамповочный, Группа ремонтной сложности 19, Харьковский тракторный завод	2	Σr_i	2519	7071	10198	15165	20370	25449	32217	36281
		$\Sigma r_i : S$	32,0	91,0	132,0	196,0	266,0	330,0	413,0	570,0
		Z_{AP}	74,20	93,60	134,10	15,48	16,98	17,30	17,78	18,19

Примечания. Σr_i — суммарные затраты на плановые ремонты, руб.

$\Sigma r_i : S$ — отношение затрат на ремонт к затратам на приобретение, %.

Z_{AP} — удельные затраты на плановые ремонты, руб/маш.-месяц.

Даже затраты только на плановые ремонты с увеличением срока службы очень быстро начинают превышать затраты на приобретение новой машины. Например, для формовочной машины затраты на плановые ремонты уже в первом цикле превышают ее первоначальную стоимость. При сроке службы этой машины, равном 12 годам, затраты только на плановые ремонты превышают в 19 раз ее первоначальную стоимость! Совершенно очевидно, что такое положение не может быть признано нормальным.

Представленные в табл. 5 данные о росте затрат на плановые ремонты несколько занижены против действительных, хотя таблица составлялась на основе фактических материалов предприятий. Объясняется это тем, что в расчетах условно принималась себестоимость каждого вида планового ремонта неизменной, поскольку закономерность возрастания затрат на ремонт одного наименования с увеличением срока службы оборудования установить пока не удалось. Себестоимость каждого вида ремонта определялась по нормативам, применяемым на заводах, где исследовалось оборудование.

С увеличением срока службы оборудования происходит сокращение продолжительности межремонтных периодов и циклов, что и является одной из главных причин повышения расчетной величины удельных расходов на плановые ремонты даже в том случае, если считать, что объем планового ремонта одного наименования не изменяется с возрастом машины.

Как хорошо известно из практики, с увеличением «возраста» оборудования имеет место и значительный рост расходов на межремонтное обслуживание, куда входят и все внеплановые ремонты. Получение данных о фактических затратах на внеплановые ремонты и обслуживание, удельная величина которых в расчете на единицу произведенной работы (продукции) возрастает от цикла к циклу с увеличением «возраста» машины, представляет наибольшие трудности. Объясняется это тем, что на большинстве предприятий расходы на внеплановые ремонты и обслуживание учитываются в целом по всему оборудованию, а не по каждому отдельному экземпляру. Кстати сказать, что такая постановка учета практически исключает возможность контроля и анализа этих расходов, хотя во многих случаях фактический

объем расходов только на внеплановые ремонты составляет половину и даже более общих расходов на ремонт.

Для того чтобы учесть влияние затрат на внеплановые ремонты и обслуживание на оптимальный срок службы оборудования, примем, что эти затраты составляют для оборудования, прослужившего 20 лет, 50% общих расходов на ремонты*, а для оборудования, имеющего меньший срок службы, их величина пропорционально уменьшается. В результате будут получены данные, отражающие общую сумму расходов на ремонт оборудования в каждом межремонтном цикле. Эти данные были использованы при определении долговечности станков моделей 1А62 и 1К62 в рассмотренных ниже примерах.

Пример 3. Определить верхнюю границу оптимального срока службы токарно-винторезного станка модели 1А62 при следующих условиях.

Оптовая цена станка $S=908$ руб.**. Остальные исходные данные, необходимые для расчета, приведены в табл. 6.

В данном примере в эксплуатационные расходы включены только затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт как статьи себестоимости, изменяющиеся в зависимости от срока службы машины. Остальные элементы, составляющие эксплуатационные расходы в первом приближении можно принять неизменяющимися.

По формуле (12) определим последовательно себестоимость Z_{AC} 1 месяца эксплуатации станка по затратам на ремонты и приобретение при сроке службы, равном 1, 2, 3, ..., 8 межремонтным циклам.

Однако в связи с тем, что данных о фактической выработке станка в машино-часах получить не удалось, в этой формуле будем брать календарную продолжительность межремонтного цикла.

Напомним, что согласно поставленному выше условию за межремонтный цикл здесь принимается период

* В системе ППР указывается, что объем расходов на межремонтное обслуживание составляет около 60% общей суммы затрат на ремонты и обслуживание. См. «Единая система ППР», Машгиз, 1962, стр. 120, табл. 27.

** При уточненном расчете срока службы станка к затратам на приобретение следует прибавить расходы на его монтаж и демонтаж и вычесть ликвидационную стоимость.

Исходные данные для расчета верхней границы оптимального срока службы токарно-винторезного станка модели 1А62 (Харьковский моторостроительный завод „Серп и молот“)

Номер цикла l	Продолжительность цикла t_l , месяц	Эксплуатационные расходы за цикл E_l , руб.*	Расходы на капитальный (средний) ремонт в цикле R_l , руб.
1	28	86	0
2	30	317	353
3	22	294	353
4	21	193	525
5	24	267	353
6	21	304	353
7	19	287	525
8	22	460	353

* Здесь учтены только расходы по ремонту и техническому обслуживанию.

эксплуатации между капитальным и средним или между двумя средними ремонтами.

Себестоимость 1 месяца эксплуатации при сроке службы станка, равном одному циклу:

$$Z_{AC1} = \frac{S + E_1}{t_1} = \frac{908 + 86}{28} = 35,5 \text{ руб./маш.-месяц},$$

при сроке службы, равном двум циклам:

$$Z_{AC2} = \frac{S + E_1 + R_1 + E_2}{t_1 + t_2} = \frac{908 + 86 + 353 + 317}{28 + 30} = 28,7 \text{ руб./маш.-месяц}.$$

Аналогичным путем была последовательно определена себестоимость 1 месяца эксплуатации при сроке службы станка, равном 3, 4, ..., 8 циклам. Полученные результаты сведены в табл. 7. Сравнив их между собой, нетрудно установить, что при сроке службы станка модели 1А62, равном двум циклам ($T_c=4,8$ годам), обеспечивается наиболее низкий уровень себестоимости 1 маш.-месяца эксплуатации.

Таким образом, срок службы, равный двум условным циклам, представляет собой верхнюю границу срока службы станка модели 1А62, поскольку проведение более точного расчета может только уменьшить, но никак не увеличить полученный результат.

Изменение себестоимости 1 маш.-месяца использования металлорежущих станков в зависимости от их срока службы по затратам на приобретение и ремонт, руб./маш.-месяц

Наименование станка и место использования	К-во единиц в группе	Показатели	Срок службы в условных межремонтных циклах							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Станок модели 1А62 Завод „Серп и молот“	117	Срок службы:								
		годы	2,3	4,8	6,7	8,4	10,4	12,2	13,8	15,6
		месяцы	28	58	80	101	125	146	165	187
Станок модели 1К62 Завод „Серп и молот“	16	Себестоимость 1 месяца эксплуатации	35,5	28,7	28,9	30,0	29,2	29,5	31,0	31,7
		Срок службы:								
		годы	2,6	5,2	7,3	9,5	12,4	13,8	Нет данных	
Станок модели 1А62 ХТЗ	116	месяцы	31	62	88	114	149	166		
		Себестоимость 1 месяца эксплуатации	50,6	34,9	33,1	32,0	29,4	31,0		
		Срок службы:								
Станок модели 1К62 ХТЗ	21	годы	3,5	5,8	7,8	9,9	11,6	13,7	15,8	17,0
		месяцы	42	70	94	118	139	164	189	204
		Себестоимость 1 месяца эксплуатации	27,7	24,1	24,5	24,8	25,7	26,5	28,0	31,0
Станок модели 1К62 ХТЗ	21	Срок службы:								
		годы	3,2	5,2	7,0	—			Нет данных	
		месяцы	39	63	84	—				
		Себестоимость 1 месяца эксплуатации	43,4	36,9	34,3	—				

Проведенный расчет базируется на статистических данных о продолжительности межремонтных циклов и затратах на ремонты группы станков в 116 единиц, использовавшихся на Харьковском моторостроительном заводе «Серп и молот».

Совершенно аналогичным путем была установлена верхняя граница оптимального срока службы по материальному износу для групп станков модели 1А62 и модели 1К62, использовавшихся на заводе «Серп и молот» и ХТЗ. Результаты расчетов величины себестоимости по затратам на приобретение и ремонт также приведены в табл. 7.

Как показывает анализ данных табл. 7, верхняя граница оптимального срока службы станка модели 1А62, использовавшегося на ХТЗ, находится также в пределах двух межремонтных циклов, как и для станка этой модели, эксплуатировавшегося на заводе «Серп и молот».

Для станка модели 1К62, использовавшегося на заводе «Серп и молот», верхняя граница оптимального срока службы находится в пределах пяти циклов эксплуатации, что соответствует сроку службы станка, равному 12 годам. По всей вероятности, оптимальный срок службы этого станка будет меньше верхней границы, установленной на основе обеспечения минимальной себестоимости. Следует указать, что столь короткие сроки службы станков до достижения верхней границы оптимальной долговечности являются следствием весьма низкого качества ремонта при очень высокой стоимости, что объясняется в первую очередь низким техническим и организационным уровнем ремонтного производства и целым рядом других причин, требующих специального рассмотрения. Полученные результаты поэтому не могут служить подтверждением объективной нецелесообразности капитальных ремонтов машин.

Пример 4. Установить верхнюю границу оптимального срока службы станка модели 1А62 с учетом влияния морального износа.

Используя данные примера 3, определим срок службы станка модели 1А62 (эксплуатирующегося на заводе «Серп и молот»), при котором его замена более прогрессивным станком модели 1К62 обеспечит наиболее низкую себестоимость эксплуатации за их совокупный срок службы.

По формуле (49) последовательно определим средневзвешенную себестоимость 1 маш.-месяца работы $Z_{AC(T'+T_0'')}$ (при совокупном использовании станка модели 1А62, а затем станка модели 1К62) при сроке службы станка модели 1А62, равном 1, 2, ... межремонтным циклам:

$$Z_{AC(T'+T_0'')} = \frac{Z'_{AC}T' + Z''_{AC}T_0''}{T' + T_0''},$$

где Z'_{AC} , Z''_{AC} — себестоимость 1 маш.-месяца эксплуатации соответственно для станков модели 1А62 и 1К62;

T' — срок службы станка модели 1А62;

T_0'' — нормативный срок службы станка модели 1К62*.

В рассматриваемом примере 1 месяц работы станка модели 1А62 не эквивалентен 1 месяцу работы станка модели 1К62, так как последний обладает более высокой производительностью.

По данным Д. С. Львова производительность станка модели 1К62 на 15% выше, чем станка модели 1А62 [27, стр. 5].

Следовательно, для того чтобы установить средневзвешенную себестоимость 1 маш.-месяца работы при совокупном использовании этих станков, необходимо себестоимость 1 маш.-месяца работы одного из станков, например модели 1К62, скорректировать с учетом отличия по производительности.

Кроме того, необходимо учесть, что при определении даже верхней границы оптимального срока службы машины с учетом морального износа, себестоимость единицы продукции (работы) машины, заменяемой и новой (в данном примере станка модели 1А62 и 1К62), должна определяться не только с учетом тех элементов затрат, составляющих себестоимость, которые изменяются с увеличением срока службы машины, но и с учетом тех элементов себестоимости, удельные величины которых не одинаковы у обеих машин.

К таким элементам в данном случае следует отнести заработную плату станочника, затраты на двигательную электроэнергию, затраты на текущие ремонты и аморти-

* В этой формуле срок службы станка должен выражаться в количестве продукции (работы), если имеются эти данные.

зацию. Последние две составляющие себестоимости учтены в наших расчетах. Что касается остальных элементов, составляющих себестоимость, то нужно учесть и их влияние на себестоимость 1-го месяца использования станка. Для этого необходимо определить себестоимость 1-го месяца использования станков модели 1А62 и модели 1К62 по указанным затратам. Другими словами, определить месячные затраты по этим статьям и прибавить их к себестоимости, рассчитанной только по затратам на ремонт и приобретение станка.

Для станка 1К62, кроме того, необходимо учесть повышение его производительности. Используя данные того же источника, определим месячные затраты по указанным элементам [27, стр. 5—6].

Так, месячная заработная плата станочника может быть определена следующим образом.

Если принять полезный фонд времени работы станка $T_{рс} = 4000$ час в год, коэффициент использования станка $K_{ис} = 0,6$ и часовую заработную плату (с учетом дополнительной) $З_ч = 0,47$ руб., то месячная заработная плата для обоих исследуемых станков, если не учитывать относительного повышения производительности станка модели 1К62, будет равна

$$Z_{вп} = \frac{T_{рс} K_{ис} З_ч}{12} = \frac{4000 \cdot 0,6 \cdot 0,47}{12} = 94 \text{ руб./месяц.}$$

Месячный расход на электроэнергию подсчитаем по следующей формуле:

$$Z_э = \frac{1}{12} T_{рс} K_{сп} \frac{Ц_{тэ}}{100} N_э,$$

где $K_{сп}$ — коэффициент спроса электроэнергии, учитывающий использование двигателя во времени и по мощности, а также потери в сети. Для станочного оборудования коэффициент спроса может быть принят равным 0,4;

$Ц_{тэ}$ — цена (тариф) единицы энергии, коп. Для приближенного расчета можно принять равной 1,2 коп./квт-час;

$N_э$ — установленная мощность электродвигателя (для станка модели 1А62 равна 7 квт, а для модели 1К62 равна 10 квт).

Отсюда месячный расход на электроэнергию для станка модели 1А62 будет равен

$$Z'_a = \frac{1}{12} 4000 \cdot 0,6 \cdot 0,4 \frac{1,2}{100} \cdot 7 = 6,72 \text{ руб./маш.-месяц,}$$

для станка модели 1К62

$$Z''_a = \frac{1}{12} 4000 \cdot 0,6 \cdot 0,4 \frac{1,2}{100} \cdot 10 = 9,6 \text{ руб./маш.-месяц.}$$

Изменение себестоимости 1 маш.-месяца работы в зависимости от срока службы станков моделей 1А62 и 1К62 с учетом не только затрат на приобретение и ремонты, но и расходов на заработную плату станочников и электроэнергию приведено в табл. 8. Данные себестоимости 1 маш.-месяца для станка модели 1К62 скорректированы с учетом относительного повышения производительности этого станка по сравнению со станком модели 1А62.

Таблица 8

Изменение себестоимости 1 маш.-месяца использования металлорежущих станков в зависимости от их срока службы, руб./маш.-месяц

Наименование станка и место использования	Срок службы в условиях межремонтных циклах							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Станок модели 1А62 Завод „Серп и молот“	136,7	129,5	129,6	130,7	129,9	130,2	131,7	132,4
Станок модели 1К62 Завод „Серп и молст“	134,1	120,4	118,9	117,9	115,6	117,0	Нет данных	
Станок модели 1А62 ХТЗ	128,4	124,8	125,2	125,5	126,4	127,2	128,7	131,7
Станок модели 1К62 ХТЗ	127,8	122,2	119,9	Нет данных				

Примечания. 1. Себестоимость 1 маш.-месяца работы станка рассчитана по затратам на приобретение, ремонт, зарплату станочника и электроэнергию.

2. Себестоимость 1 маш.-месяца работы станка 1К62 скорректирована с учетом относительного повышения производительности.

Как следует из данных табл. 8, станок модели 1К62 обеспечивает более низкую себестоимость 1 маш.-месяца работы, чем станок модели 1А62.

Рассчитаем наиболее эффективный срок замены станка модели 1А62 более совершенной моделью 1К62, т. е. в соответствии с поставленным выше условием, обеспе-

чивающий минимум себестоимости за совокупный срок службы обоих станков.

Для этого последовательно определим средневзвешенную величину себестоимости $Z_{AC(T'+T''_0)}$ при сроке службы станка модели 1А62, равном одному и двум циклам эксплуатации. Здесь уже нет надобности определять себестоимость при сроке службы, большем чем два цикла, т. е. превышающем верхнюю границу, установленную по материальному износу, так как влияние морального износа, во всяком случае, не увеличит этот срок службы.

Средневзвешенная величина себестоимости 1 маш.-месяца работы при сроке службы станка модели 1А62, равном одному межремонтному циклу, будет равна

$$Z_{AC(T'+T''_0)} = \frac{Z'_{AC1}t_1 + Z''_{AC}T''_0}{t_1 + T''_0} = \frac{136,7 \cdot 28 + 115,6 \cdot 149}{28 + 149} = \\ = 119,0 \text{ руб./маш.-месяц,}$$

при двух циклах

$$Z_{AC(T'+T''_0)} = \frac{Z'_{AC2}(t_1 + t_2) + Z''_{AC}T''_0}{t_1 + t_2 + T''_0} = \\ = \frac{129,5 \cdot 58 + 115,6 \cdot 149}{58 + 149} = 119,5 \text{ руб./маш.-месяц.}$$

Полученные результаты подтверждают, что продолжать расчеты не имеет смысла, так как при дальнейшем увеличении срока службы станка модели 1А62 величина средневзвешенной себестоимости будет повышаться.

Таким образом, в рассматриваемом примере оптимальный срок службы станка модели 1А62 с учетом одновременного влияния материального и морального износа равняется одному межремонтному циклу. Найденный результат позволяет уже говорить не о верхней границе оптимального срока службы станка модели 1А62, а об оптимальном сроке службы по материальному и моральному износу, так как уточнение расчетов не может уже улучшить полученный результат: оптимальный срок службы не может быть меньше одного межремонтного цикла, если считать, что межремонтный цикл имеет оптимальную величину.

Рассмотренный пример наглядно показывает практическую целесообразность установления верхней границы оптимального срока службы машины. Установить верх-

ную границу значительно проще и в смысле вычислений и, в особенности, в смысле получения всех необходимых для расчета исходных данных.

В заключение отметим, что как последний пример расчета оптимального срока службы станка 1А62, так и все предыдущие примеры имеют своей целью только показать возможность практического использования изложенного циклового метода определения оптимальной долговечности машин, но ни в коем случае не претендуют на нормативы, так как базируются пока на ограниченном исходном статистическом материале.

* * *

Эксплуатация машин за пределами оптимальных сроков службы приносит большие убытки, причем тем большие, чем больше фактический срок службы отличается от оптимального.

Превышение оптимального срока службы, кроме того, означает также увеличение объема капитальных вложений в производственные фонды, т. е. фактическая величина убытков будет еще более значительной.

Учитывая, что количество машин и оборудования, эксплуатируемого в народном хозяйстве, исчисляется сотнями тысяч и даже миллионами единиц, переход к экономически обоснованным срокам службы в народнохозяйственном масштабе обеспечит значительную экономию, измеряемую миллиардами рублей, и, кроме того, будет способствовать более быстрым темпам технического прогресса.

Глава VIII

О РАСЧЕТЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Выше была рассмотрена методика определения оптимальной долговечности машин. Однако на практике необходимо уметь определять оптимальную долговечность не только машин, но и любых технических систем*.

* Здесь также имеются в виду восстанавливаемые системы многократного действия, за исключением тех систем, долговечность которых обуславливается неэкономическими факторами.

Поэтому, естественно, возникает вопрос о возможности использования для этих целей принципиальных основ изложенной выше методики определения оптимальной долговечности машин.

Если считать, что любая техническая система подвержена процессу материального износа, то с увеличением срока использования данной системы будут повышаться расходы по ее эксплуатации при ухудшении технических и экономических ее параметров, а также увеличиваться основные фонды и оборотные средства, потребные для обеспечения ее технического обслуживания и ремонта. Однако, с другой стороны, повышение продолжительности использования данной технической системы означает снижение нормы амортизационных отчислений на восстановление, и в этом смысле продление ее срока службы является весьма желательным.

Разнонаправленное действие факторов, определяющих долговечность технической системы, указывает на необходимость отыскать золотую середину, т. е. экономически оптимальное решение при установлении оптимального срока службы*.

Поскольку, как показывает практика, все без исключения технические системы подвержены процессу материального износа, то указанные факторы, определяющие долговечность, действуют на любую техническую систему независимо от ее сложности, конструктивных особенностей и назначения.

Таким образом, наличие процессов старения технической системы по существу является не только необходимым, но и достаточным условием для утверждения, что ее оптимальную долговечность можно определить, используя основы изложенной выше методики.

Конечно, в практике возможны случаи, когда оптимальный срок службы системы, рассчитанный на основе экономических соображений, окажется значительно больше, чем срок службы, устанавливаемый, например, исходя из соображений безопасности. В этом случае, разумеется, следует отдать предпочтение соображениям безопасности, но наличие таких случаев не опровергает

* Сохраняя принятую выше методическую последовательность, и в этой главе сначала будем рассматривать вопросы установления оптимальной долговечности без учета влияния морального износа.

возможности и необходимости расчета экономически оптимальной долговечности технических систем.

На примере радиоэлектронных устройств попытаемся показать, что принципиальные методические основы установления оптимальной долговечности, разработанные для машин, могут быть применены и для немеханических систем.

Естественно, наиболее простым и вместе с тем наиболее убедительным доказательством возможности использования изложенной методики применительно к радиоэлектронным устройствам были бы конкретные расчеты их оптимальной долговечности. Однако в связи с тем, что учету расходов по эксплуатации радиоэлектронных устройств до настоящего времени уделяется совершенно недостаточное внимание, произвести эти расчеты из-за отсутствия необходимых исходных статистических материалов не представляется возможным.

Небезынтересно отметить, что по американским данным стоимость эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры, например, в сухопутных войсках составляет весьма значительные суммы. По этому поводу В. Летэ, начальник отдела военного министерства США, сообщал следующее: «Была исследована общая стоимость радиоэлектронной аппаратуры во время первых пяти лет ее эксплуатации в сухопутных войсках. Оказалось, что первоначальные затраты на приобретение аппаратуры составляют только одну четверть от общих затрат в течение пяти лет. Остальные три четверти относятся к обслуживанию. Большая часть затрат обусловлена обслуживающим персоналом, ремонтом и расходами на обращение с запасными частями» [40, стр. 15].

По данным военно-воздушных сил США последние также несут значительные расходы по обслуживанию радиоэлектронной аппаратуры.

«Известно, что затраты ВВС (в США — Р. К.) по уходу составляют около двух долларов в год на доллар стоимости самолетной радиоэлектронной аппаратуры. Если предположить, что эти затраты линейно зависят от времени, то самолетное оборудование стоимостью 1 млн. долларов обойдется за пять лет эксплуатации в 10 млн. долларов эксплуатационных расходов» [14, стр. 175].

В значительной мере аналогичное положение наблюдается при эксплуатации радиоэлектронных устройств не только военного назначения.

Приведенные данные свидетельствуют о значительном удельном весе расходов по обслуживанию и ремонту радиоэлектронных устройств в общей стоимости их эксплуатации, что со всей очевидностью указывает на необходимость расчета и соблюдения оптимальных сроков службы для радиоэлектронных устройств как одной из весьма важных мер по сокращению этих расходов.

Однако, для того чтобы определить оптимальную долговечность радиоэлектронного устройства, необходимо, как уже было подчеркнуто выше, располагать данными об изменении расходов по его эксплуатации в зависимости от срока службы, т. е. необходим тщательный учет этих расходов по каждому исследуемому объекту в течение всего амортизационного периода от начала эксплуатации до списания в лом. Без тщательно поставленного учета расходов, вызываемых ненадежностью каждого данного радиоэлектронного устройства, нельзя не только определить его оптимальную долговечность, но и также нельзя достаточно полно судить о его надежности в широком смысле и, следовательно, о его качестве. Тщательный учет расходов по эксплуатации, как хорошо известно, является совершенно необходимым условием для их сокращения.

Следует подчеркнуть, что и в перспективе эти статистические данные, представляющие большую научную и практическую ценность, не будут накоплены, если не улучшится коренным образом состояние первичного учета. Причем, необходимость улучшения первичного учета существует практически во всех без исключения отраслях народного хозяйства.

Как было указано выше, наличие процессов старения технической системы фактически является достаточным основанием для того, чтобы можно было применить изложенную методику для определения оптимальной долговечности данной технической системы. Словом, для того чтобы можно было утверждать, что эта методика пригодна и для радиоэлектронных устройств, необходимо доказать, что с увеличением срока их эксплуатации имеет место старение, а отсюда и увеличение удельных эксплуатационных расходов, в первую очередь расходов

по обслуживанию и ремонту. Иначе говоря, ответить на вопрос: подвержены ли старению радиоэлектронные устройства и увеличиваются ли расходы по их эксплуатации в связи с процессом старения?

В целом ряде работ, посвященных надежности радиоэлектронных устройств, констатируется процесс их старения по мере увеличения срока эксплуатации.

Так, например, авторы книги «Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники» при рассмотрении влияния процессов старения на надежность радиоэлектронных устройств утверждают, что процессы старения присущи всем их элементам [48, стр. 115].

Процесс старения радиоэлектронных устройств констатируется также и в зарубежной литературе. Например, на Третьей конференции по ремонтпригодности радиоэлектронной аппаратуры в США отмечалось следующее: «Кроме морального старения следует учитывать и физическое старение (имеется в виду радиоэлектронная аппаратура — Р. К.). Последнее является функцией окружающей среды и времени. Для данной окружающей среды окисление, кристаллизация, увлажнение и т. п. увеличиваются со временем. Воздействие в виде ударов, вибрации, нагрузок непосредственно зависит от продолжительности функционирования и использования. Случайные отказы, обусловленные производственными или конструктивными недостатками и неправильным обращением, зависят от времени и использования.

Все перечисленные факторы способствуют прогрессивному развитию физического старения. Ремонт обычно сдерживает физическое старение. Однако в некоторых случаях ремонт может и ускорять старение». Здесь же отмечается, что «каковы бы ни были правила ремонта, вообще невозможно полностью восстановить то, что теряется при старении (подчеркнуто Р. К.)» [40, стр. 20].

Видимо, нет необходимости продолжать ссылки для доказательства того, что процесс старения присущ радиоэлектронным устройствам, так же как и машинам и, очевидно, любым другим техническим системам.

Экономическим следствием прогрессирующего процесса износа и старения радиоэлектронных устройств при увеличении срока эксплуатации является повышение расходов по поддержанию их в технически исправном состоянии, т. е. расходов на техническое обслужи-

вание и ремонт. Однако в связи с отсутствием прямых учетных данных об изменении этих расходов в функции времени использования радиоэлектронных устройств воспользуемся некоторыми косвенными данными для доказательства справедливости этого утверждения.

Прежде всего обратимся к общеизвестной кривой изменения зависимости средней интенсивности отказов радиоэлектронной аппаратуры от времени ее работы (рис. 18).

Характер кривой изменения интенсивности отказов, показанной на рис. 18, является общепризнанным (классическим, если так можно выразиться) в отечественной и зарубежной литературе. Подавляющее большинство авторов, широко известных своими работами, посвященными надежности радиоэлектронной аппаратуры (Б. В. Гнеденко, Я. Б. Шор, Н. А. Шишенок, А. М. Половко, И. Базовский, Д. Ллойд и М. Липов и др.), приводят указанную зависимость в своих трудах. Вот как

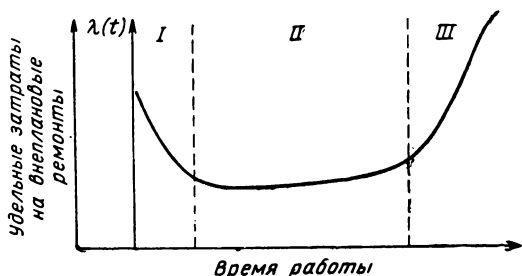


Рис. 18. Зависимость средней интенсивности отказов радиоэлектронных устройств и усредненных удельных расходов на внеплановые ремонты от времени работы.

Я. М. Сорин в одной из работ описывает изменения интенсивности отказов радиоэлектронных устройств во времени:

«Если графически изобразить частоту отказов, то для каждого типа аппаратуры она будет выглядеть по-разному. Однако можно построить некоторую общую кривую частоты отказов, характерную для большинства типов радиоэлектронной аппаратуры».

«Кривая частоты отказов имеет три явно выраженных характерных участка, обозначенных цифрами I, II и III (см. рис. 18 — *Р. К.*)».

Первый участок соответствует некоторому начальному периоду работы аппаратуры. Период этот для различных видов аппаратуры может продолжаться от нескольких десятков до сотен часов. Он характеризуется повышенной частотой отказов, большую часть которых составляют внезапные отказы.

В этот начальный период наибольшее число отказов приходится на электровакуумные приборы.

Конденсаторы и сопротивления, обладающие большим сроком службы, не дают заметного повышения частоты отказов. Отказы, являющиеся следствием нарушения технологического процесса и низкой культуры производства, как правило, больше всего выявляются в этот первоначальный период эксплуатации.

После замены отказавших деталей частота отказов постепенно уменьшается. Начальный период называют периодом «приработки» (или «вжигания» — *Р. К.*) аппаратуры. Обычно первый участок вырабатывается во время заводской наладки и настройки или тренировки аппаратуры и не входит в период ее плановой эксплуатационной работы.

Основным и наиболее длительным по времени является второй участок кривой. Отказы и в этот период имеют в основном внезапный характер, но средняя частота их резко снижается и становится сравнительно постоянной».

«После сравнительно продолжительного периода устойчивой работы, составляющего обычно для многих видов аппаратуры несколько тысяч часов, наступает период, показанный на третьем участке кривой. Он характеризуется новым нарастанием частоты отказов, имеющих на этот раз преимущественно постепенный характер и являющихся *результатом старения и износа элементов и материалов, применяемых в аппаратуре* (подчеркнуто нами — *Р. К.*)».

Часто радиоэлектронная аппаратура не успевает доработать до этого периода. Если же аппаратура продолжает работать и дальше, то для восстановления ее надежности производится полная проверка всех деталей и замена тех из них, которые вышли из строя или потеряли свои первоначальные параметры, т. е. капитальный ремонт аппаратуры» (подчеркнуто нами — *Р. К.*) [42, стр. 29—30].

Устранение каждого отказа в процессе эксплуатации радиоэлектронного устройства связано с определенными затратами. Если принять среднюю стоимость устранения одного отказа величиной постоянной в течение всего срока службы радиоэлектронного устройства, то в этом случае кривая изменения интенсивности отказов в некотором масштабе будет одновременно представлять собой изменение удельных (на единицу полезно отработанного времени) затрат по внеплановому ремонту устройства в течение его срока службы (см. рис. 18).

Затраты на профилактическое обслуживание и плановые ремонты не будут изменять характер этой кривой, так как обычно их проведение не считается отказом устройства. Кроме того, средние затраты на одно профилактическое обслуживание и плановый ремонт обычно выше, чем средние затраты, необходимые для устранения одного отказа.

Как следует из рис. 18, увеличение продолжительности эксплуатации радиоэлектронного устройства ведет в конечном счете к увеличению удельных затрат по его ремонту и обслуживанию. При этом увеличение интенсивности отказов означает увеличение потерь из-за простоя устройства и, следовательно, снижение производительности его работы в единицу календарного времени.

Выше мы приняли за постоянную величину стоимость устранения одного отказа, но при этом ни в коем случае нельзя забывать, что с увеличением срока эксплуатации устройства происходит не только увеличение интенсивности отказов, но и повышение средней стоимости устранения одного отказа. Объясняется это тем, что на один отказ у более старого радиоэлектронного устройства приходится в среднем большее число дефектов, чем у менее изношенного, и поэтому-то стоимость устранения одного отказа для первого выше, чем для второго. Кроме того, в ряде случаев с увеличением срока службы устройства увеличивается и число, и номенклатура дефектов.

Повышение интенсивности отказов и, следовательно, увеличение удельных затрат на внеплановые ремонты радиоэлектронной аппаратуры с увеличением ее срока службы очень наглядно подтверждается исследованиями надежности приемно-усилительных ламп, проведенными Н. В. Паролем [35, стр. 8—9].

На рис. 19 приведены кривые, иллюстрирующие характер изменения во времени интенсивности внезапных отказов и отказов за счет старения ламп октальной серии (6Ж8, 6Ж4, 6П9, 6А7, 6Б8С, 6Н7С, 6Н8С, 6Г2, 6Е5С и др.). Как известно, отказы радиоэлектронных устройств обычно делят на две группы: внезапные и отказы за счет постепенного ухудшения параметров, т. е. за счет так называемого «старения».

Рассматривая рис. 19, нетрудно заметить, что фактическая зависимость интенсивности отказов от времени эксплуатации заметно отличается от идеализированной, показанной на рис. 18. Интересно отметить, что кривая интенсивности отказов за счет старения имеет весьма ярко выраженную тенденцию нарастания с увеличением срока службы. Поскольку приемно-усилительные лампы входят в подавляющее большинство радиоэлектронных приборов, используемых в радиоаппаратуре, постольку

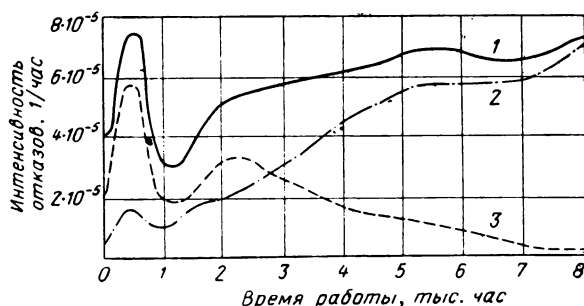


Рис. 19. Зависимость интенсивности отказов ламп октальной серии от времени работы:

1 — суммарная; 2 — за счет старения; 3 — за счет внезапных отказов.

надежность работы радиотехнических устройств в значительной степени определяется надежностью приемно-усилительных ламп.

Все изложенное доказывает, что с увеличением срока эксплуатации радиоэлектронных устройств, несомненно имеет место тенденция нарастания удельных расходов на внеплановые ремонты, вызываемые их старением.

Однако изложенная выше цикловая методика определения оптимальной долговечности машин основывается и на том, что в каждом отдельном межремонтном периоде также имеет место нарастание удельных затрат

на внеплановые ремонты и техническое обслуживание машины (см. гл. III, рис. 3), а если машина подвергается капитальным ремонтам, то в каждом межремонтном цикле происходит рост удельных затрат на все виды ремонтов и технического обслуживания (см. гл. III, рис. 9).

Интересно отметить, что, по мнению ряда авторов, изменение интенсивности отказов в течение межремонтного периода, а следовательно, и затрат на внеплановые ремонты для радиоэлектронных устройств, подвергающихся профилактическим ремонтам, имеет характер, в принципе аналогичный изменению удельных затрат на внеплановые ремонты и обслуживание машин в межремонтном периоде.

Так, например, авторы книги «Надежность и эффективность радиоэлектронных устройств» [11, стр. 198] интенсивность изменения отказов радиоэлектронной системы с учетом профилактических ремонтов в зависимости от ее срока службы представляют в виде пилообразной

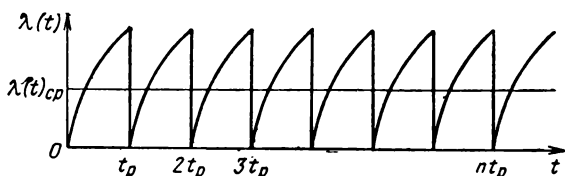


Рис. 20. Интенсивность отказов радиоэлектронной системы с учетом профилактики:

$\lambda(t)$ — интенсивность отказов; $\lambda(t)_{cp}$ — средняя интенсивность отказов;
 t_p — период профилактики; t — время эксплуатации.

кривой (рис. 20). Как следует из рис. 20, удельные затраты на внеплановые ремонты с увеличением периода профилактики возрастают вплоть до момента проведения профилактических работ, после чего снова снижаются, и так процесс повторяется неоднократно.

Достаточно сравнить кривую рис. 20 с кривой на рис. 3,а, чтобы заметить их принципиальное сходство. Правда, авторы рис. 20 считают, что средняя интенсивность отказов радиоэлектронной аппаратуры остается примерно постоянной во времени. Действительно, в течение некоторого периода эксплуатации такое положение может иметь место, но с дальнейшим увеличением общего срока службы радиоэлектронного устройства должно

Всё явственнее проявляться влияние процесса старения и, следовательно, будет повышаться интенсивность отказов.

Таким образом, и закономерность изменения удельных расходов по внеплановому ремонту радиоэлектронных устройств в отдельных межремонтных периодах подтверждает возможность применения цикловой методики для определения их оптимальной долговечности.

Если радиоэлектронное устройство за период своей эксплуатации подвергается капитальному ремонту, т. е. ремонту, во время которого производится полная его разборка и замена всех износившихся элементов, в результате чего устройству возвращаются его первоначальные параметры, то в этом случае, как уже указывалось, изменение интенсивности отказов в межремонтном цикле протекает в соответствии с типичной кривой, представленной на рис. 18.

На это обстоятельство указывают и другие авторы. Так, например, авторы книги «Надежность радиоэлектронной аппаратуры» [34], рассматривая типичную кривую интенсивности отказов во времени, пишут следующее:

«Третий участок (*III*) (см. рис. 18 — *Р. К.*) характеризуется повышенной интенсивностью отказов, которая объясняется естественным старением сопротивлений, конденсаторов механических и электрических узлов и агрегатов, ухудшением изоляции монтажных и моточных проводов. При эксплуатации аппаратуры этот участок, как правило, четко не проявляется, так как в начале его аппаратура подвергается капитальному ремонту» [34, стр. 23].

Таким образом, повышение интенсивности отказов и следовательно, удельных затрат на внеплановые ремонты радиоэлектронных устройств, несомненно, имеет место и при увеличении межремонтных циклов. Последнее означает безусловную возможность использования принципов цикловой методики определения оптимальной долговечности машин применительно к радиоэлектронным устройствам.

Применение указанной методики, конечно, возможно как для радиоэлектронных устройств, так и для машин, которые в течение своего срока службы не подвергаются капитальным ремонтам. В этом случае в расчетах место межремонтного цикла займет межремонтный период,

что не изменит сущности методики определения оптимальной долговечности системы.

Несомненно, те же самые логически неопровержимые соображения о том, что списание машины должно производиться перед дорогостоящим ремонтом, но ни в коем случае не после его проведения (ведь нет смысла сначала отремонтировать машину, а потом списать в лом!), распространяются и на ридоэлектронные устройства, так же как и на любые другие технические системы. Словом, есть все основания считать, что оптимальная долговечность радиоэлектронных устройств по материальному износу может быть установлена с помощью предлагаемой методики.

Интересно отметить, что предположение о том, что методика определения оптимальной долговечности машины может быть использована применительно к радиоэлектронным устройствам, было высказано на Третьей конференции по ремонтпригодности радиоэлектронной аппаратуры в США.

По этому поводу В. Летэ говорит следующее: «...была принята обширная программа получения фактической стоимости эксплуатации всех классов полевой аппаратуры, используемой в сухопутных войсках США. Изучение было начато с транспортных машин, после чего оно распространилось на характерные устройства и радиоэлектронную аппаратуру. Характерность устройств определялась их конструкцией, применяемыми материалами и т. п.

Предварительное исследование и получение исходных данных охватывали ремонт 0,25-тонного грузового автомобиля. В результате этого исследования, а также изучения многочисленных эксплуатационных донесений, посещений штабов войсковых частей и соединений выяснилась неэкономичность капитального ремонта упомянутого грузовика. Капитальный ремонт его был прекращен.

Весьма важным дополнительным результатом этого исследования были статистические сведения, позволившие обосновать экономически правильный срок службы грузовика. По окончании этого срока службы более выгодно заменить старый грузовик новым, чем продолжать затрачивать средства на ремонт. Отслуживший грузовик исключается из эксплуатации.

Конечно, вопросы ремонта грузового автомобиля далеки от рассматриваемой темы. Тем не менее в результате изучения эксплуатации грузовика получены некоторые важные ведущие отправные положения для анализа радиоэлектронной аппаратуры (подчеркнуто нами—Р. К.). Полученные результаты показывают необходимость дальнейших исследований» [40, стр. 25].

Как видим, В. Летэ не только указывает на возможность использования «некоторых важных ведущих отправных положений», установленных при расчете оптимальной долговечности грузовика применительно к радиоэлектронной аппаратуре, но и считает необходимым установление ее оптимальной долговечности.

До сих пор, как это было обусловлено выше, рассматривался вопрос о возможности установления оптимальной долговечности радиоэлектронных устройств по материальному износу без учета влияния морального износа.

Появление более технически и экономически совершенных радиоэлектронных устройств ведет к обесцениванию стареющих устройств того же назначения, делает их использование менее экономически эффективным и тем самым вызывает сокращение оптимального срока службы, рассчитанного без учета влияния морального износа.

Однако появление новых более совершенных радиоэлектронных устройств еще совсем не означает целесообразности немедленной замены стареющих устройств новыми. Необходимо выбрать наиболее экономически оптимальный срок замены, т. е. решить вопрос об оптимальном сроке службы устройства с учетом одновременного влияния морального и материального износа.

Нет никаких оснований считать, что принятое при определении оптимальной долговечности машин условие достижения наибольшей рентабельности использования стареющей и новой машины за совокупный срок их службы не может быть использовано при определении оптимальной долговечности радиоэлектронных устройств или любых других технических систем, разумеется, если можно рассчитать рентабельность их работы. В противном случае, как и для машин, расчет можно вести на основе достижения минимума приведенных затрат или даже минимума себестоимости единицы работы за совокупный

срок службы стареющего и нового радиоэлектронного устройства. Таким образом, как нам кажется, все изложенное достаточно убедительно показывает, что предлагаемая методика определения оптимальной долговечности машины, безусловно, может быть применена и для радиоэлектронных устройств.

Однако использование этой методики применительно к радиоэлектронным устройствам, несомненно, будет иметь некоторые особенности. В частности, возникает вопрос о выборе единицы продукции (работы) радиоэлектронного устройства. По нашему мнению, в качестве единицы работы для большей части радиоэлектронных устройств следует рекомендовать 1 час полезной работы.

Для приближенных практических расчетов оптимальную долговечность радиоэлектронных устройств можно определить на основе достижения минимума приведенных затрат или даже минимума себестоимости единицы работы, не забывая, что уточненный расчет может привести только к сокращению полученного срока службы.

Если радиоэлектронное устройство функционирует по обслуживанию какой-либо технической системы и его отказы влекут за собой потери из-за простоя системы, то в этом случае расчет оптимальной долговечности радиоэлектронного устройства должен производиться на основе достижения наибольшей рентабельности при эксплуатации обслуживаемой им системы, конечно, если рентабельность использования этой системы можно определить.

Если же рассчитать рентабельность нельзя, то определение долговечности можно вести на основе достижения минимума приведенных затрат или даже на основе минимума себестоимости единицы работы (продукции) данной обслуживаемой им системы.

Разумеется, в качестве единицы продукции (работы) и в этом случае уже следует принимать продукцию (работу) обслуживаемой системы, а не самого радиоэлектронного устройства.

Возможность использования методики определения оптимальной долговечности машин применительно к радиоэлектронным устройствам, по нашему мнению, может служить подтверждением, что эта методика пригодна и для любых других технических систем независимо от их конструктивной сложности и назначения.

1. Базовский И. Надежность: теория и практика. Пер. с англ., под ред. Б. Л. Левина. Изд-во «Мир», 1965.
2. Барташев Л. В. Техничко-экономические расчеты при проектировании и производстве машин. Машгиз, 1963.
3. Барташев Л. В. и Гамрат-Курек Л. И. Экономика конструирования машин и приборов. Латгосиздат, Рига, 1964.
4. Белов Ф. И., Соловейчик Ф. С. Вопросы надежности радиоэлектронной аппаратуры. Обзор трудов Шестого симпозиума по надежности и контролю качества радиоэлектронной аппаратуры. Госэнергоиздат, 1961.
5. Берг А. И. Кибернетика и надежность. Изд-во «Знание», 1964.
6. Бруевич Н. Г. Вопросы надежности и точности электронных устройств в машиностроении и приборостроении. «Энергетика и автоматика», 1961, № 1.
7. Бруевич Н. Г. и Грабовецкий В. П. Об основных направлениях теории надежности. «Приборостроение», 1963, № 8.
8. Бунин М. В. К вопросу об экономическом обосновании амортизационных и межремонтных сроков строительных машин. Сб. «Горные, строительные и дорожные машины». Изд-во «Техника», К. 1965.
9. Бунин П. Г. Основные фонды социалистической промышленности. Госфиниздат, 1960.
10. Вааг Л. А., Захаров С. Н. Методы экономической оценки в энергетике. Госэнергоиздат, 1962.
11. Васильев Б. В., Козлов Б. А. и Ткаченко Л. Г. Надежность и эффективность радиоэлектронных устройств. Изд-во «Советское радио», 1964.
12. Владзиевский А. П. и Якобсон М. О. Сколько и как должен служить станок? «Экономическая газета» от 14 августа 1961 г.
13. Владзиевский А. П., Якобсон М. О., Розенблюм С. Г. Установление рациональных сроков службы металлорежущих станков. «Вестник машиностроения», 1966, № 8, стр. 75—79.
14. «Вопросы надежности радиоэлектронной аппаратуры». Сборник докладов IV Национального симпозиума США. Пер. с англ., под ред. И. И. Морозова. Изд-во «Советское радио», 1959.
15. Гнеденко Б. В. Статистические методы в теории надежности. Изд-во «Знание», 1964.
16. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. Изд-во «Наука», 1965.
17. Канторер С. Е. Амортизация и моральный износ машин в строительстве. Академия строительства и архитектуры, 1959.
18. Канторер С. Е. Определение оптимального срока службы строительных машин. «Механизация строительства», 1963, № 7.
19. Кваша Я. Б. Амортизация и сроки службы основных фондов. Изд-во АН СССР, 1959.

20. Колёгаев Р. Н. Определение наивыгоднейших сроков службы машин. Экономиздат, 1963.
21. Конкин Ю. А. Износ и амортизация техники в сельском хозяйстве. Изд-во «Колос», 1965.
22. Консон А. С. Экономика ремонта машин. Машгиз, 1960.
23. Кордонский Х. Б. и Герцбах И. Б. Изнашивание и эксплуатационная надежность. Труды Рижского института инженеров гражданского воздушного флота, 1963, вып. 33.
24. Кугель Р. В. Долговечность автомобилей. Машгиз, 1961.
25. Либерман Е. Г. Рентабельность социалистических предприятий. «Экономическая газета», № 51, декабрь 1965.
26. Ллойд Д. и Липов М. Надежность: организация исследования, методы, математический аппарат. Пер. с англ., под ред. Н. П. Бусленко. Изд-во «Советское радио», 1964.
27. Львов Д. С. Экономический анализ при проектировании машин. ЦИНТИАМ, 1964.
28. Львов Д. С. Основы экономического проектирования машин. Изд-во «Экономика», 1966.
29. Маликов И. М., Половко А. М., Романов Н. А., Чукарев П. А. Основы теории и расчета надежности. Судпромгиз, 1960.
30. «Методика определения экономической эффективности внедрения новой техники, механизации и автоматизации производственных процессов в промышленности». Под ред. Т. С. Хачатурова. Изд-во АН СССР, 1963.
31. «Надежность технических систем и изделий». Основные понятия, «Терминология», вып. 67а. Изд-во «Наука», 1965.
32. «Надежность наземного радиоэлектронного оборудования». Пер. с англ., под ред. Н. М. Шулейкина. Изд-во «Советское радио», 1957.
33. Павлов П. Снашивание и амортизация основных фондов. Госфиниздат, 1957.
34. Павлыченко А. Д., Сафронов Г. Д. и др. Надежность радиоэлектронной аппаратуры. Изд-во «Советское радио», 1963.
35. Пароль Н. В. Надежность приемно-усилительных ламп. Изд-во «Советское радио», 1964.
36. Петухов Р. М. Методика экономической оценки износа и сроков службы машин. Изд-во «Экономика», 1965.
37. Половко А. М. Основы теории надежности. Изд-во «Наука», 1964.
38. Попов В. П. Некоторые вопросы надежности и ремонтпригодности машин. В сб. «Кибернетику — на службу коммунизму». Изд-во «Энергия», 1964.
39. Проников А. С. Износ и долговечность станков. Машгиз, 1957.
40. «Ремонтпригодность радиоэлектронной аппаратуры». Пер. с англ., под ред. О. Ф. Пославского. Изд-во «Советское радио», 1964.
41. Селиванов А. И. Основы теории старения машин. Машгиз, 1964.
42. Сорин Я. М. Надежность радиоэлектронной аппаратуры. Госэнергоиздат, 1961.
43. Токарев Г. Г. Рациональные сроки службы автомобилей. Автотрансиздат, 1962.

44. Трейер В. Н. Теория долговечности и надежности машин. Минск, изд-во «Наука и техника», 1964.
45. Хачатуров Т. С. Экономическая эффективность капитальных вложений. Изд-во «Экономика», 1964.
46. Чернявский В. О. Эффективность экономических решений. Изд-во «Экономика», 1965.
47. Чудаков К. П., Темиров Ю. С. Экономическое обоснование оптимальных сроков службы машин. «Механизация строительства», 1964, № 6.
48. Шишонов Н. А., Репкин В. Ф. и Барвинский Л. Л. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. Изд-во «Советское радио», 1964.
49. Шор Я. Б. Прикладные вопросы теории надежности (лекции 1—8). Изд-во «Знание», 1965.
50. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. Изд-во «Советское радио», 1962.
51. Шухгальтер Л. Я. Некоторые экономические аспекты долговечности и надежности машин. «Вестник машиностроения», 1964, № 4.
52. Шухгальтер Л. Я. Экономика долговечности и надежности машин. Экономиздат, 1963.
53. Шухгальтер Л. Я. Экономические основы повышения качества, надежности и долговечности промышленных изделий. Изд-во «Знание», 1966.
54. Яковлев Г. М. Некоторые вопросы надежности и долговечности машин. Минск, 1961.
55. Ямпольский С. М. Надежность и долговечность машин как экономические категории. «Вестник машиностроения», 1963, № 1.
56. Ямпольский С. М., Эрлих Л. Б. Экономика освоения новых конструкций машин. Изд-во «Машиностроение», 1964.

РОСТИСЛАВ НИКОЛАЕВИЧ КОЛЕГАЕВ

Определение оптимальной долговечности технических систем

Редактор А. А. Александрова
Художественный редактор В. Т. Сидоренко
Технический редактор В. В. Беляева
Корректор Т. Л. Князева

Сдано в набор 3.I. 1967 г. Т-04460 Формат 84×108 ¹ / ₃₂ Объем 5,88 усл. печ. л. Заказ № 3	Подписано к печати 19.IV. 1967 г. Бумага типографская № 2 Уч.-изд л. 6,11 Тираж 19 000 экз. Цена 31 коп.
---	--

Издательство „Советское радио“, Москва, Главпочтамт п/я 693.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	
Глава I. О применяемой терминологии	
Глава II. Принципиальная сущность существующих методов определения оптимальной долговечности машин	
Глава III. Изменение себестоимости единицы продукции (работы) машины в зависимости от ее срока службы	
Глава IV. Изменение величины производственных фондов в сфере эксплуатации в зависимости от срока службы машины	
Глава V. Цикловой метод определения оптимального срока службы машин по материальному износу .	
Глава VI. Цикловой метод определения оптимального срока службы машин с учетом влияния морального износа	
Глава VII. Примеры расчета оптимального срока службы машин	
Глава VIII. О расчете оптимальной долговечности радиоэлектронных устройств	
Литература	1

Цена 31 коп.

