



Новая модель оценки подержанных машин и оборудования

Смоляк Сергей Абрамович

*Центральный экономико-математический институт РАН
117418, г. Москва, Нахимовский проспект, 47*

Аннотация

Наибольшую трудность при оценке подержанных машин, в том числе при формировании национальных счетов, представляет определение их относительной стоимости (отношения стоимости машины к стоимости аналогичной новой машины). Для решения этой задачи в статье предложена новая модель, учитывающая требования стандартов оценки. При этом мы опираемся на сведения о долговечности машин, продолжительности и стоимости их технического обслуживания и ремонта. Срок службы машины при её рациональном использовании рассматривается как случайная величина, зависящая от условий её эксплуатации, и имеющая распределение Вейбулла. Состояние машины в фиксированных условиях эксплуатации модели характеризуется её накопленной наработкой. Предлагается параметрическая зависимость интенсивности приносимых машиной выгод от её накопленной наработки и срока службы. Основным параметр этой зависимости отражает уменьшение коэффициента использования машины по времени за срок её службы. Стоимость машины определяется суммой ожидаемых дисконтированных выгод от их последующего рационального использования. В целях практического применения машины разделены на классы, различающиеся коэффициентом вариации срока службы. Показано, что относительная стоимость машины каждого класса с достаточной точностью может быть определена как соответствующая функция от её

относительного возраста (отношения возраста к среднему сроку службы). При необходимости здесь может быть учтено и (достаточно слабое) влияние уменьшения коэффициента использования машины по времени за срок её службы.

Ключевые слова: машины, оборудование, наработка, техническое обслуживание и ремонт, срок службы, распределение Вейбулла, стоимостная оценка, относительная стоимость, выгоды, национальные счета

Дата публикации: 01.07.2021

Ссылка для цитирования:

Смоляк С. А. Новая модель оценки подержанных машин и оборудования // Вестник ЦЭМИ РАН. – 2021. – Выпуск 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://cemi.jes.su/s265838870014144-1-1/> (дата обращения: 01.07.2021). DOI: 10.33276/S265838870014144-1

1. Постановка задачи

Методы оценки рыночной стоимости (далее – стоимости) новых и подержанных машин и оборудования (далее – машин) различаются. Новые машины, как правило, представлены на первичном рынке, и их стоимость определяется на основе цен, установленных производителями и/или дилерами. Для оценки стоимости подержанных машин обычно используется так называемый затратный подход. За основу при этом принимается стоимость аналогичной новой (возраста 0 лет) машины на ту же дату оценки - *стоимость воспроизводства* оцениваемой машины. Уменьшение стоимости машины по сравнению со стоимостью её воспроизводства именуется *обесценением* (depreciation, в ряде источников – «физическим износом» или «износом»), отношение стоимости машины к стоимости её воспроизводства – коэффициентом или процентом годности (Percent Good Factor) или *относительной стоимостью*, отношение обесценения к стоимости воспроизводства – коэффициентом или процентом обесценения [1; 4].

В конце срока службы, когда далее невозможно или нецелесообразно использовать машину по назначению, она используется иным способом (например, как набор подержанных запасных частей и металлолом). Стоимость такой машины называется *утилизационной*. Обычно она составляет 3-10% от стоимости новой машины той же марки. Во многих случаях при стоимостной оценке подержанной машины о ней известны только марка (модель, модификация) и возраст. Поскольку у разных машин процесс эксплуатации протекает по-разному, то стоимости машин одного возраста существенно различаются. В такой ситуации можно опираться только на зависимость средней стоимости машин от возраста (по сути, регрессионную). Соответственно, в такой ситуации используются и зависящие от возраста средние коэффициенты годности или обесценения. Для их определения

оценщики обычно используют различные формулы или таблицы. Условно их можно разделить на две группы.

Формулы первой группы получены на основе регрессионных зависимостей цен машин от возраста (см., например, [9; 13]). Однако такие формулы получены лишь для некоторых, но не всех марок. Кроме того, во многих случаях вид (спецификация) зависимостей не обосновывается ни техническими, ни экономическими соображениями.

Ко второй группе относятся формулы, претендующие на универсальность. Но и здесь предлагаемые зависимости должным образом не обоснованы. Приведём лишь один пример. В так называемом линейном методе [3] обесценение машины предлагается оценить отношением возраста машины к сроку её службы. Мотивируется это тем, что ухудшение технического состояния машины происходит равномерно. Между тем, наблюдения за процессом физического износа узлов и деталей машин свидетельствуют о неравномерности этого процесса. К тому же из равномерности ухудшения технических характеристик машины с возрастом отнюдь не следует равномерность снижения её стоимости. Чтобы как-то исправить положение и одновременно учесть вероятностный характер срока службы, было предложено «уточнить» линейный метод, определяя обесценение машины отношением возраста машины к сумме возраста со средним остаточным сроком её службы [4, пп. 6.2.1 и 6.2.2]. К сожалению, такой приём некорректен – среднее значение дроби не равно отношению средних значений числителя и знаменателя. Более того, этот метод не учитывает и утилизационной стоимости машины. В то же время, установить динамику изменения стоимости машины с возрастом оказывается невозможным без использования информации о сроке её службы. Поэтому далее мы будем считать известным *средний* срок службы машины.

Представляется, что более обоснованные зависимости средних коэффициентов годности и обесценения можно установить, опираясь на результаты, полученные в смежных научных дисциплинах. Мы предлагаем использовать в этих целях выявленные в теории надёжности законы вероятностного распределения срока службы машин, а также методы, используемые в системах национальных счетов для определения так называемого потребления основного капитала (по существу, обесценения капитальных активов). В данной статье предлагается использовать положения соответствующих теорий для определения обесценения машин. Это позволяет учесть деградацию машин в процессе использования, приводящую к снижению её производительности и росту операционных затрат.

2. Общая схема оценки стоимости подержанной машины

При оценке стоимости машин в системе национальных счетов объектом рассмотрения является не отдельная машина, а группа аналогичных машин разного возраста. Обычно такой группой являются машины и оборудование, используемые в одном и том же виде деятельности (отрасли экономики). Для наших целей естественно объединить в одну группу машины одной марки (модели, модификации). Принимается, что все машины используются по назначению и

рационально в течение своего (экономического) срока службы, т.е. до момента, когда дальнейшее использование станет технически невозможным, недопустимым или экономически неэффективным. Однако сроки службы машин одной группы – случайные, причём вероятностное распределение этих сроков известно.

При использовании доходного подхода к оценке машины основной её характеристикой в некотором периоде становятся приносимые ей **выгоды**¹. Сумма выгод, приносимых машиной за период, при этом отражает:

- чистый операционный доход, т.е. стоимость продукции, производимой активом в этом периоде, за вычетом затрат на это производство (именно так понимаются выгоды в [2]);
- рыночную плату за аренду актива на этот период за вычетом затрат арендодателя или, что то же, рыночную арендную стоимость актива (именно так понимаются выгоды в [8]);
- приходящуюся на актив часть чистого дохода владеющего машиной предприятия за период.

Однако, используя только рыночные данные, непосредственно измерить указанными способами выгоды от использования машины в каком-либо периоде обычно невозможно (по этой причине мы используем термин «выгоды», а не «чистый доход» или «денежный поток», которые обычно обозначают показатели, подтверждаемые рыночными данными). Тем не менее, невозможность прямо подтвердить рыночными данными размер приносимых машиной выгод не означает, что его вообще нельзя оценить.

Для сравнения укажем, что рыночными данными непосредственно нельзя подтвердить и стоимость новой машины, если такие машины на дату оценки на рынке отсутствуют – в таких случаях для оценки используются другие методы, например, сведения о ценах машин других марок.

Доходный подход к оценке машин базируется на упоминаемом в [1] общем *принципе ожидания выгод*, который можно сформулировать так [10]:

Стоимость актива не превосходит суммы дисконтированных выгод от его использования в некотором периоде и стоимости того же актива в конце периода, совпадает с этой суммой, если актив используется экономически рационально.

Применяя этот принцип, можно получить, что выгоды, приносимые капитальным активом в некотором периоде, могут быть определены как сумма обесценения актива за этот период и процента на капитал, исчисленного по рыночной ставке дисконтирования от рыночной стоимости актива [8, раздел 20].

Действительно, если актив используется по назначению в течение единицы времени, то его стоимости (выраженные в неизменных ценах) C_n и C_k в начале и конце периода будут связаны следующим равенством:

¹ В системе национальных счетов выгоды именуется услугами [вложенного в актив] капитала.

$$C_n = \frac{B + C_k}{1 + E}, \quad (2.1)$$

где B – приносимые активом выгоды за период, E – (реальная, т.е. не учитывающая инфляцию) ставка дисконтирования за период.

Из равенства (2.1) следует, что

$$B = (C_n - C_k) + EC_n. \quad (2.2)$$

При этом первый член суммы отражает обесценение актива (уменьшение его рыночной стоимости за период), а второй – процент на капитал.

Учитывая, что процесс деградации машины на протяжении срока её службы происходит непрерывно, состояние машины в некоторый момент времени мы характеризуем интенсивностью приносимых ею выгод – размером выгод от её использования в течение малой единицы времени. Соответственно, используемая в модели ставка дисконтирования будет относиться к непрерывному времени – эту ставку мы обозначим через r .

Из (2.2) следует, что у любой машины до окончания экономического срока службы интенсивность приносимых машиной выгод будет не меньше, чем произведение rU ставки дисконтирования (в непрерывном времени) на утилизационную стоимость машины² (U). Однако, если использовать машину по назначению в течение малой единицы времени за пределами экономического срока службы, это будет неэффективно, и в формуле (2.2) знак равенства заменится на «>». При этом интенсивность приносимых машиной выгод окажется меньше произведения rU . Это значит, что к концу экономического срока службы выгоды, приносимые машиной в единицу времени, снижаются до уровня rU . В частности, при нулевой утилизационной стоимости они будут снижаться до нуля. Именно такое допущение ($U = 0$) делается при оценке активов в системах национальных счетов, в МСФО и при оценке машин и оборудования для налогообложения в США [15], а также в некоторых учебниках по оценке машин.

Строго говоря, динамика приносимых реальными активами выгод определяется процессом деградации машины, однако такие процессы изучены недостаточно и не для всех видов машин. Не удаётся надёжно установить эту динамику и по данным наблюдений за отдельными машинами.

Во всех известных методиках она описывается коэффициентами b уменьшения выгод, зависящими от возраста актива (t) и срока его службы³ (T). При

² Это произведение отражает упущенную за малую единицу времени выгоду от утилизации машины. Действительно, если отложить утилизацию машины на малое время dt , упущенная выгода от этого составит $(1 - rdt)U - U = -rdt$ или rU за единицу времени.

³ В системе национальных счетов зависимость этих коэффициентов от возраста именуется профилем возраст-эффективность (Age-Efficiency Profile).

этом для разных групп активов соответствующие зависимости могут быть разными. В большинстве методик эти коэффициенты выражаются функциями от *относительного возраста* $\tau = t/T$ – отношения возраста к сроку службы. Выяснить, как влияет возраст машины на её стоимость, можно только, сделав определённые **допущения** о виде этих функций. При этом, как и в [8, п. 20.20], мы считаем, что допущения относительно снижения *выгод* с возрастом приводят к лучшим результатам при оценке стоимости и обесценения активов, чем допущения относительно темпов снижения *стоимости* с возрастом.

В [5; 15] принимается, что на протяжении экономического срока службы интенсивность приносимых машиной *выгод неизменна*: $b(\tau) = 1$ при всех $\tau < 1$. Однако такое допущение не согласуется с фактическими данными об изменении с возрастом производительности и операционных затрат машин.

В России [6], США, Австралии, Новой Зеландии, Бельгии, Нидерландах, а также в ОЭСР принимается (одна и та же для всех видов машин) гиперболическая зависимость этого коэффициента от возраста (t) и срока службы (T) или, что то же самое, – от относительного возраста $\tau = t/T$:

$$b(\tau) = \frac{T - t}{T - 0,5t} = \frac{1 - \tau}{1 - 0,5\tau}. \quad (2.3)$$

В Канаде, Дании, Финляндии, Норвегии, Швейцарии используется экспоненциальная зависимость коэффициента изменения *выгод* от относительного возраста:

$$b(\tau) = e^{-\alpha\tau}. \quad (2.4)$$

При этом значения α для разных групп активов различаются, но обычно лежат в пределах от 1,3 до 2,5. Отметим в связи с этим, что методу уменьшающегося остатка (в России – нелинейный метод амортизации) отвечает $\alpha = 2$, а в [19] предлагалось для машин и оборудования принимать $\alpha = 1,65$, а для зданий и сооружений $\alpha = 0,91$.

В [8] указываются и другие виды зависимостей, более адекватно описывающих процесс ухудшения технического состояния машин с возрастом. Так, по данным [20], в системе национальных счетов Германии, Франции, Италии, Швеции используется линейная зависимость: $b(\tau) = 1 - \tau$ при всех $\tau < 1$.

Обратим внимание, что при зависимости (2.3) скорость снижения интенсивности приносимых машиной *выгод* (т.е. отрицательная производная $-b'(\tau)$) с возрастом снижается, тогда как при гиперболической зависимости (2.4) она растёт, а при линейной – остаётся постоянной. Однако в модели (2.4) $b(1) > 0$, что является важным недостатком модели.

Как видим, из практически используемых моделей снижения *выгод* с возрастом приемлемыми могут считаться только линейная и гиперболическая.

Каких-то теоретических обоснований у этих моделей нет. Поэтому вопрос о выборе приемлемой для стоимостных оценок такой модели остаётся открытым.

При выбранной зависимости $b(\tau)$ динамика обесценения машин определённой группы в системах национальных счетов рассчитывается в следующем порядке.

1. Задаются среднее значение и коэффициент вариации срока службы машин этой группы.
2. Для каждого возможного значения срока службы (T) выполняются следующие расчёты:
 - Интенсивность выгод от использования машины в начале эксплуатации условно принимается равной 1. В таких (условных) единицах интенсивность выгод, приносимых машиной возраста t , составит $b(t/T)$;
 - Для каждого $t < T$ находится сумма дисконтированных (к дате оценки) выгод от последующего использования машины, имеющей возраст t на дату оценки. Эта сумма, по существу, отражает стоимость (в принятых условных единицах) машины возраста T при условии, что срок её службы (T) задан.
3. Построенные зависимости (условных) стоимостей машин от возраста усредняются, при этом в качестве весов используются вероятности соответствующих сроков службы (T). Такой расчёт позволяет получить ожидаемые (средние) стоимости машин каждого возраста в принятых условных единицах.
4. Для каждого возраста t определяется относительная стоимость $k(t)$ путём деления найденных на шаге 4 стоимостей на стоимость новой (возраста 0) машины⁴. Существенно, что она уже не зависит от выбора единицы измерения стоимостей.
5. Коэффициенты $i(t)$ обесценения (износа) определяются как дополнение относительных стоимостей до 1: $i(t) = 1 - k(t)$.
6. Обесценение I машины возраста t определяется путём умножения соответствующего коэффициента обесценения $i(t)$ на стоимость C новой машины той же марки (на ту же дату оценки): $I = i(t)C$.

Более подробно данный метод описывается в [8; 15]. По существу, он использовался и в работах [5; 11; 12], а также в [14; 15] для построения таблиц процентов годности.

Необходимо подробнее остановиться на экономическом смысле относительных стоимостей и коэффициентов обесценения, найденных указанным способом. Дело в том, что сроки службы машин одной марки – случайные, так что машины одного возраста могут находиться в разном техническом состоянии и иметь разную стоимость. В этой ситуации само понятие стоимости машин определённого возраста теряет смысл. Однако изложенный алгоритм позволяет определять *среднюю* стоимость машин соответствующего возраста, так что найденные значения $k(t)$ являются *средними*, отражающими отношение *средней* стоимости машин соответствующего возраста к стоимости новой (возраста 0 лет) машины. Если бы на рынке было представлено достаточно много машин возраста t , значения $k(t)$ можно было бы найти, рассчитав среднюю стоимость таких машин. При не слишком

⁴ В системе национальных счетов зависимость $k(t)$ именуется моделью возраст-стоимость (Age-Price Profile).

большом объёме выборки те же коэффициенты можно найти, построив регрессионную зависимость цен машин от их возраста. Именно так обычно и проверяется практическая пригодность различных моделей обесценения.

Заметим теперь, что изложенный алгоритм ориентирован на оценку машин с *нулевой утилизационной стоимостью*. В общем же случае (см. раздел 5) величина D обесценения машины находится применением коэффициента обесценения к стоимости новой машины *за вычетом её утилизационной стоимости* (эта разность в МСФО именуется амортизируемой суммой), а рыночная стоимость – как разность между стоимостью новой машины C_0 и обесценением:

$$D(T) = (C_0 - U)i(t), \quad C(T) = C_0 - I(T) = (C_0 - U)k(T) + U. \quad (2.5)$$

3. Зависимость интенсивности выгод от наработки и возраста

Как показано выше, каких-то теоретически обоснованных зависимостей интенсивности приносимых машинами выгод от возраста нет, а имеющиеся данные о технико-экономических характеристиках машин разного возраста не позволяют отдать предпочтение какой-либо из известных. Ниже предлагается один из возможных подходов к построению подходящей для машин зависимости $b(\tau)$.

Как уже говорилось, сроки службы машин одной марки – случайные. Мы объясняем это тем, что разные машины эксплуатируются в разных условиях. При этом различие условий эксплуатации мы связываем не только с состоянием среды, окружающей машину (например, с температурой, влажностью, загрязнённостью воздуха), но и с составом выполняемых машиной работ и сменностью работы. Однако, как и требуется при стоимостной оценке, мы будем считать, что в каждом конкретном условиях машина эксплуатируется рационально, т.е. с соблюдением всех технических требований и типичным для этих условий способом.

Заметим теперь, что в технической литературе состояние машины связывается не с её возрастом, а с наработкой. Выясним поэтому, как связан возраст и наработка машины при её рациональном использовании. При этом для определённости будем измерять наработку в единицах отработанного времени. При этом состояние машины будем характеризовать её накопленной с начала эксплуатации *наработкой* (w).

Далее в этом разделе мы будем рассматривать только машины, работающие в некоторых **фиксированных** условиях. Этим условиям будут отвечать и режим работы машины (в том числе и сменность), вид производимой ею продукции (работ, услуг), срок службы T и отвечающая ему (предельная) наработка W , а также динамика эксплуатационных характеристик машины на протяжении срока службы.

Рассмотрим теперь машины, работающие в данных условиях в течение некоторого периода длительностью D (например, году или квартале). Разделим время их эксплуатации на три составляющие:

- 1) время работы машины, т.е. её наработку;

- 2) время проведения технического обслуживания и ремонта (ТОиР);
- 3) нерабочее время.

При этом к нерабочему времени отнесём внережимное и внесменное время (выходные и праздничные дни, простои по метеорологическим условиям, перебазировки строительных машин с одного объекта на другой и т.п.), а также внутрисменные простои. Так подсчитанное нерабочее время обычно составляет некоторую долю $\gamma = D_n/D$ общего фонда, и эта доля не зависит от технического состояния машины (обычно $\gamma=0,4\dots0,7$).

Иное положение с временем проведения технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Соответствующие работы бывают разных видов (например, ежедневное обслуживание, ТО-1, ТО-2, средний ремонт) и производятся с разной периодичностью. При этом в среднем на каждый час наработки машины приходится определённое количество часов проведения *планового* ТОиР. Однако по мере старения машины она всё чаще подвергается разного рода отказам⁵. Соответственно растёт и количество внеплановых ремонтов.

Это позволяет принять, что на единицу наработки машины, находящейся в состоянии w , в среднем приходится некоторое зависящее от состояния машины (w) количество часов $h(w)$ проведения ТОиР. Рассмотрим теперь машину, находящуюся в состоянии w , у которой за малый период времени dt наработка составила dw . На этот период работы приходится $h(w)dw$ единиц времени на проведение ТОиР, а также γdt единиц времени простоя. В таком случае имеем: $dt = dw + h(w)dw + \gamma dt$. Отсюда следует, что

$$\frac{dt}{dw} = \frac{1 + h(w)}{1 - \gamma}. \quad (3.1)$$

Обратим внимание на то, что величину $1 + h(w)$ можно трактовать как режимное время, приходящееся на единицу наработки. При этом обратная величина будет отражать коэффициент использования режимного времени машины (КИРВ), который с возрастом будет снижаться. При этом обычно к концу срока службы КИРВ снижается.

Перейдём теперь к оценке выгод от использования машины. За малый период dt машина производит определённую продукцию (работу, услугу). Поскольку стоимость этой продукции пропорциональна наработке машины (dw), обозначим её $A dw$, где A – стоимость продукции, производимой за единицу наработки. Затраты на производство продукции в периоде dt также можно считать пропорциональными наработке машины. Однако приходящиеся на этот период затраты на проведение ТОиР будут зависеть от состояния машины – более старые машины будут требовать

⁵ Снижение надёжности наблюдается даже у машин, чьи эксплуатационные характеристики поддерживаются на стабильном уровне. Не случайно, скажем, авиационные двигатели направляют в капитальный ремонт через определённое количество часов работы. Если бы интенсивность их отказов не зависела от наработки, в этом не было бы никакого смысла (грубо говоря, двигатель отказывал бы с одинаковой вероятностью как после часа работы, так и после 5000 часов).

всё более частых внеплановых ремонтов, а сам ремонт будет обходиться дороже. Затратами в период простоя машины будем пренебрегать. Поэтому общая сумма затрат за период в расчёте на единицу наработки машины будет зависеть от состояния машины. Обозначим её через $g(w)$. Таким образом, выгоды от использования машины (стоимость произведённой продукции за вычетом операционных затрат), в этом периоде составят $A - g(w)$ на единицу наработки. При этом в конце срока службы, т.е. при достижении предельной наработки W эти выгоды должны обратиться в нуль, откуда следует, что $A = g(W)$.

Мы получаем, таким образом, что выгоды от использования машины, находящейся в состоянии w , за малую единицу наработки составляют $g(W) - g(w)$. Поэтому интенсивность приносимых машиной выгод (выгоды, приносимые за малую единицу времени), с учётом (3.1), определится формулой:

$$B = \frac{[g(W) - g(w)]dw}{dt} = \frac{(1 - \gamma)[g(W) - g(w)]}{1 + h(w)}. \quad (3.2)$$

По той же формуле при $w = 0$ определится и интенсивность B_0 выгод, приносимых новой машиной. Это позволяет найти коэффициент изменения выгод $b = B/B_0$:

$$b = \frac{B}{B_0} = \frac{[g(W) - g(w)][1 + h(0)]}{[g(W) - g(0)][1 + h(w)]}. \quad (3.3)$$

Обратим внимание, что формулы (3.1) и (3.3) позволяют выразить возраст машины и коэффициент изменения выгод через наработку машины, так что зависимость коэффициента изменения выгод от возраста оказывается заданной параметрически. К тому же формула (3.1) связывает наработку машины с её абсолютным, а не относительным возрастом. Исправить ситуацию можно следующим образом.

До сих пор в нашей модели календарное время и наработка измерялись в одних и тех же единицах, при этом не имело особого значения, какие именно эти единицы. Поэтому, если мы начнём измерять время в других единицах, полученные выше соотношения не изменятся. Примем поэтому за единицу времени наработку машины за весь срок её службы (предельную наработку): $W = 1$.

Однако входящие в формулы (3.1) и (3.3) функции $h(w)$ и $g(w)$ необходимо задавать дополнительно. Для этого понадобится ввести дополнительные предположения.

Рассмотрим функции $g(w)$ и $h(w)$, отражающие соответственно затраты на ТОиР и время на их проведение. Но эти характеристики машины взаимосвязаны, поэтому естественно предположить, что прирост затрат на ТОиР по мере старения машины пропорционален приросту времени на проведение ТОиР, т.е.

$$g(w) - g(0) = C[h(w) - h(0)],$$

где C – некоторый коэффициент.

Легко проверить, что в этом случае (3.3) принимает вид:

$$b(w) = \frac{[h(1) - h(w)][1 + h(0)]}{[h(1) - h(0)][1 + h(w)]}. \quad (3.4)$$

Второе предположение касается уже конкретного вида возрастающей функции $h(w)$ на отрезке $[0,1]$. Здесь можно учесть, что обычно по мере ухудшения состояния машины (т.е. с ростом накопленной наработки) показатели использования машин по времени изменяются примерно по линейному закону. На этом основании будем считать функцию $h(w)$ линейной: $h(w) = p + qw$. При этом p отражает относительное (на единицу наработки) время на проведение ТОиР машины в начале её эксплуатации, а q – увеличение этого времени для машины в конце срока её службы. Для металлообрабатывающего оборудования, работающего в две смены, обычно $p=0,03 \dots 0,12$, для строительных машин $p=0,08 \dots 0,20$. Кроме того, к концу срока службы затраты на ТОиР и время на их проведение относительно возрастают, обычно не более, чем в 3-5 раз. Поэтому $p + q \leq 5p$ и $q \leq 4$.

Подставляя $h(w) = p + qw$ в (3.1) и интегрируя, получаем:

$$t = \frac{1}{1 - \gamma} \left[(1 + p)w + \frac{qw^2}{2} \right] = \frac{1 + p}{1 - \gamma} \left(w + \frac{\alpha w^2}{2} \right), \quad \text{где } \alpha = \frac{q}{1 + p}.$$

При $w = 1$, т.е. в конце срока службы, отсюда получаем выражения для срока службы машины (в выбранных единицах времени) и относительного возраста ($\tau = t/T$) машины:

$$T = \frac{1 + p}{1 - \gamma} \left(1 + \frac{\alpha}{2} \right); \quad \tau = \frac{t}{T} = \frac{2w + \alpha w^2}{2 + \alpha}. \quad (3.5)$$

Это позволяет выразить наработку машины через её относительный возраст:

$$w = \frac{\sqrt{1 + \tau\alpha(2 + \alpha)} - 1}{\alpha}. \quad (3.6)$$

Заметим, что в данной модели величины $1/(1 + p)$ и $1/(1 + p + q)$ отражают значения КИМВ в начале и в конце срока службы, так что их отношение $(1 + p + q)/(1 + p) = 1 + \alpha$ показывает коэффициент снижения КИМВ к концу срока службы. При этом, поскольку обычно $p \leq 0,2$, а $q \leq 4p$, то $\alpha < 0,7$.

В нашем случае из (3.4) вытекает, что $b = \frac{(1 + p)(1 - w)}{(1 + p + qw)} = \frac{(1 - w)}{(1 + \alpha w)}$. Подставляя сюда значение w из (3.6), после простых

преобразований получим искомую зависимость коэффициента снижения выгод от относительного возраста:

$$b(\tau) = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{\alpha + 1}{\sqrt{1 + \tau\alpha(2 + \alpha)}} - 1 \right]. \quad (3.7)$$

Графики полученной зависимости $b(\tau)$ при разных значениях α представлены на рис. 1. Там же для сравнения представлена и гиперболическая зависимость, принятая в системе национальных счетов России. Как видим, построенная зависимость сильно отличается от гиперболической. Более того, гиперболическая зависимость не соответствует и каким-либо средним значениям характеристик машин, что не позволяет ориентироваться на неё даже при массовой стоимостной оценке машин и оборудования.

Разумеется, принятое допущение о линейном характере функции $h(w)$ нельзя считать достаточно обоснованным (имеющиеся данные о линейном росте затрат на ТОиР машин с возрастом недостаточно представительны). Однако и более сложные модели, например, с экспоненциальной функцией $h(w)$, приводят к тому же выводу.

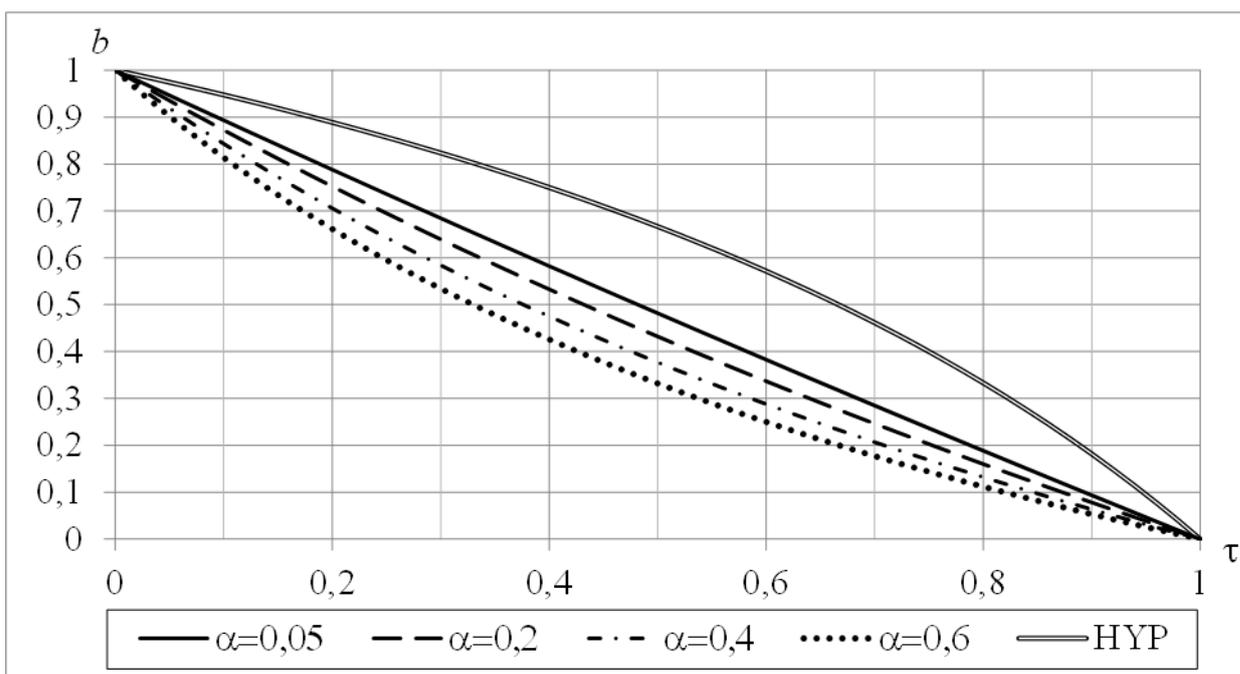


Рис. 1. Зависимости коэффициента снижения выгод от возраста по модели 1.

4. Модели долговечности машин

Как говорилось выше, для оценки обесценения машин надо знать вероятностное распределение (экономических) сроков их службы. В системе национальных счетов принимается, что оно одно и то же для всех машин одной группы. В нашем случае, когда группа образована машинами одной марки, такое предположение будет значительно более естественным.

Распределения сроков службы машин разных марок и их отдельных элементов (узлов, агрегатов) изучались многими авторами. Полученные ими результаты базировались либо на данных ускоренных испытаний на надёжность, либо на сведениях о возрасте выбывающих из эксплуатации машин. К сожалению, прямо воспользоваться этими результатами затруднительно по ряду причин:

- данные из разных источников относятся к разным (и не обязательно – типичным) условиям эксплуатации машин;
- недостаточно сведений о том, машины каких марок включены в группу;
- результаты, полученные разными авторами для одной и той же группы машин (например, компьютеров), резко отличаются, что не позволяет отнести их к машинам той же группы других марок.

В таком случае приходится ориентироваться на мнения технических специалистов. Однако сроки службы машин они измеряют не календарным временем, а наработкой.

Анализ работ по надёжности машин показывает, что в большинстве случаев распределение наблюдаемых сроков службы описывается распределением Вейбулла или логнормальным с коэффициентами вариации, лежащими, в основном, между 0,2 и 0,8 [7; 17].

Что же касается систем национальных счетов, то разные страны используют разные распределения сроков службы [18], коэффициенты вариации у которых лежат, в основном, в пределах от 0,25 до 0,7:

Россия, Бельгия, Кипр, Латвия, Франция, Чехия – логнормальное,
Германия – гамма-распределение, США,
Нидерланды и Финляндия – распределение Вейбулла,
Австралия, Дания и Чили – более сложные распределения Winfrey [16].

Как показывают данные наблюдений, у подержанных машин (но не их отдельных элементов) остаточные сроки службы с увеличением возраста убывают. Иными словами, чем старше машина, тем меньше будет в среднем остаточный срок её службы. Таким свойством обладают распределения с достаточно тяжёлыми хвостами, но не экспоненциальное и, тем более, логнормальное распределение. При гамма-распределении остаточный срок службы с увеличением возраста уменьшаться, но очень медленно. Что же касается распределений Winfrey, то они имеют ограниченный носитель. Но тогда слишком малые или слишком большие сроки службы оказываются невозможными, что не согласуется с имеющимися сведениями о возрасте работающих и выбывающих из эксплуатации машин. Указанные обстоятельства дают основания ориентироваться при оценке машин именно на распределение Вейбулла, используемое в системе национальных счетов некоторых стран. Обычно оно характеризуется параметром формы β и параметром масштаба N . Функция распределения, плотность распределения и функция надёжности в этом случае имеют вид:

$$F(x) = 1 - e^{-(x/N)^\beta}, \quad p(x) = \beta(x/N)^{\beta-1} e^{-(x/N)^\beta}, \quad P(x) = 1 - F(x) = e^{-(x/N)^\beta}. \quad (4.1)$$

Важные для стоимостной оценки параметры – среднее значение (S) и

коэффициент вариации срока службы (v) выражаются через β и N с помощью гамма-функции формулами:

$$S = N\Gamma(1 + 1/\beta), \quad v \\ = \sqrt{\Gamma(1 + 2/\beta) - \Gamma^2(1 + 1/\beta)}. \quad (4.2)$$

Для определения среднего срока службы машин конкретных марок обычно имеется необходимая информация – установленные, назначенные (производителем), гамма-процентные и нормативные сроки службы, а также экспертные оценки, позволяющие «пересчитать» эти сроки в средние [4].

Основные трудности возникают при установлении коэффициента вариации. Они связаны с тем, что для многих марок машин эти коэффициенты ещё никем не определены, а для машин одного вида, но разных марок или используемых в разных странах, их значения сильно различаются. Между тем, оценщикам приходится оценивать машины совершенно различного назначения. Для этого им необходимы более конкретные рекомендации, позволяющие приближённо оценить значения коэффициента вариации машины, опираясь на общие сведения о её технических характеристиках и требованиях к условиям эксплуатации.

Анализ имеющихся данных о значениях этого коэффициента для различных видов и марок машин позволяет с определённой условностью разделить машины и оборудование на три класса, различающиеся значениями коэффициента вариации (v).

Первый класс включает машины, к чьей надёжности и срокам службы предъявляются повышенные требования. Это машины, достаточно сложные по конструкции, высокого качества изготовления, предназначенные для работы в стабильных условиях, с установленными производителем сроками службы, либо производимые малыми сериями или в единичных экземплярах, ремонт которых обходится слишком дорого или практически невозможен. Установленные в технической документации сроки службы таких машин можно рассматривать как 90-процентные, а фактические сроки их службы лежат в довольно узких пределах. Для таких машин $v=0,22...0,38$, и в среднем здесь можно принять $v=0,3$.

Второй класс включает машины, к надёжности которых предъявляются повышенные требования, но сроки службы которых особо не регламентируются и могут неоднократно продлеваться. Сюда относятся машины, условия эксплуатации которых могут меняться в широких пределах, а также машины, предназначенные для работы в стабильных условиях, к качеству изготовления которых не предъявляется особых требований. Для таких машин $v=0,38...0,55$, и в среднем здесь можно $v=0,47$.

Третий класс включает машины и оборудование, к надёжности и срокам службы которых не предъявляются какие-то особые требования. В основном, это машины, сравнительно простые по конструкции, производимые большими сериями и достаточно легко ремонтируемые. Их надёжность мало меняется с возрастом. В принципе, их работоспособность можно восстанавливать много раз, поэтому

фактические сроки их службы могут меняться в достаточно широких пределах. Для таких машин $v=0,55\dots 0,8$, и в среднем здесь можно принять $v=0,65$.

5. Модель обесценения машин

В этом разделе мы будем строить зависимость, отражающую изменение стоимости машины с возрастом. При этом будет предполагаться, что машины рассматриваемой марки имеют **нулевую** утилизационную стоимость.

Связь между интенсивностью приносимых машиной выгод и её рыночной стоимостью вытекает из принципа ожидания выгод, упоминаемого в стандартах оценки [1]. Согласно этому принципу, рыночная стоимость машины равна ожидаемой сумме дисконтированных выгод от её использования в течение (экономического) срока службы. Поэтому при **известных** возрасте (t) и сроке службы машины (T) её стоимость $C(s)$ выражается формулой:

$$C(s) = \int_s^T b(t/T)e^{-r(t-s)} dt. \quad (5.1)$$

Учтём теперь, что срок службы машины – случайный, и у машины возраста t имеет плотность распределения $p(t)/P(s)$ на луче $T \geq t$. В таком случае (выраженная в условных единицах) стоимость машины возраста s лет определяется по формуле математического ожидания: $C(s) = \int_s^\infty \left\{ \int_s^T b(t/T)e^{-r(t-s)} dt \right\} \frac{p(T)}{P(s)} dT$. По той же формуле при $s = 0$ можно найти и стоимость новой машины $C(0)$. Остаётся только учесть, что относительная стоимость машины возраста s лет – $C(s)/C(0)$ – не зависит от того, в каких единицах выражены стоимости. Отсюда вытекает следующее выражение для относительной стоимости:

$$\frac{C(s)}{C(0)} = \frac{\int_s^\infty \left\{ \int_s^T b(t/T)e^{-r(t-s)} dt \right\} \frac{p(T)}{P(s)} dT}{\int_0^\infty \left\{ \int_0^T b(t/T)e^{-rt} dt \right\} p(T) dT}.$$

Применительно к распределению Вейбулла сроков службы эта формула принимает вид:

$$\frac{C(s)}{C(0)} = \frac{\int_s^\infty \left\{ \int_s^T b(t/T)e^{-r(t-s)} dt \right\} \beta(T/N)^{\beta-1} e^{(s/N)^\beta - (T/N)^\beta} dT}{\int_0^\infty \left\{ \int_0^T b(t/T)e^{-rt} dt \right\} \beta(t/N)^{\beta-1} e^{-(t/N)^\beta} dt}.$$

Если ввести здесь обозначение $z = s/N$ и сделать под интегралами замену переменных $T = Nx$, $t = Ny$, то правую часть этого равенства станет следующей функцией от z :

$$h(z) = \frac{\int_z^\infty \left\{ \int_z^x b(x/y) e^{-rN(y-z)} dy \right\} \beta x^{\beta-1} e^{z^\beta - x^\beta} dx}{\int_0^\infty \left\{ \int_0^x b(x/y) e^{-rNy} dy \right\} \beta x^{\beta-1} e^{-x^\beta} dx}. \quad (5.2)$$

Для функций $b(\tau)$, определяемых формулой (3.7), входящие сюда интегралы можно рассчитать только численными методами. Из (5.1) и (5.2) вытекает, что относительная стоимость машины k и коэффициент её обесценения i являются следующими функциями от её относительного возраста ($\tau = t/S$):

$$k(\tau) = \frac{C(S\tau)}{C(0)} = h(S\tau/N) = h(\tau\Gamma(1 + 1/\beta)); \quad i(\tau) = 1 - k(\tau). \quad (5.3)$$

Строго говоря, как видно из (5.2), k и i являются функциями не только от z , но и от произведения rN ставки дисконтирования на параметр масштаба распределения срока службы, от параметра формы β этого распределения, а также от параметра α модели (3.7). Однако расчёты показывают, что полученные зависимости мало зависят от rN .

Графики функции $k(\tau)$ для трёх указанных в разделе 3 классов машин при $\alpha=0,4$ представлены на рис. 2. Аналогичные графики для машин класса 2 при разных α представлены на рис. 3. Там же для сравнения представлен и график функции $k(\tau)$, отвечающий гиперболической зависимости $b(\tau)$ (2.3) – он выделен точечной линией.

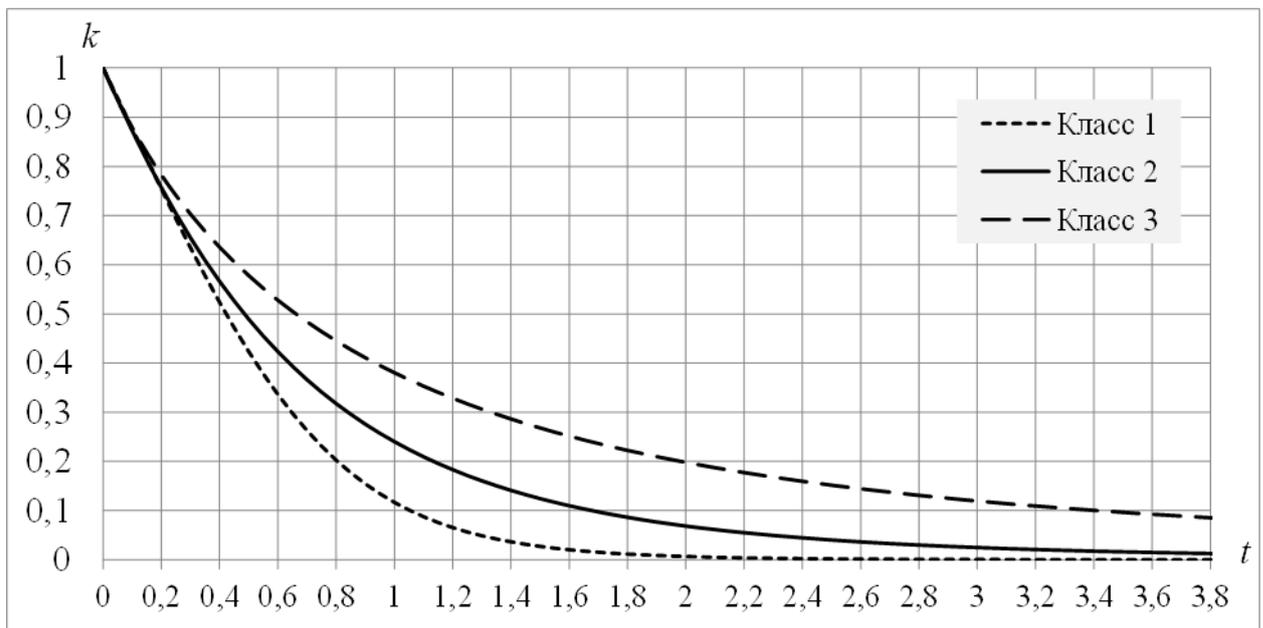


Рис. 2. Зависимость коэффициентов годности (относительной стоимости) машин разных классов от относительного возраста при $\alpha=0,4$.

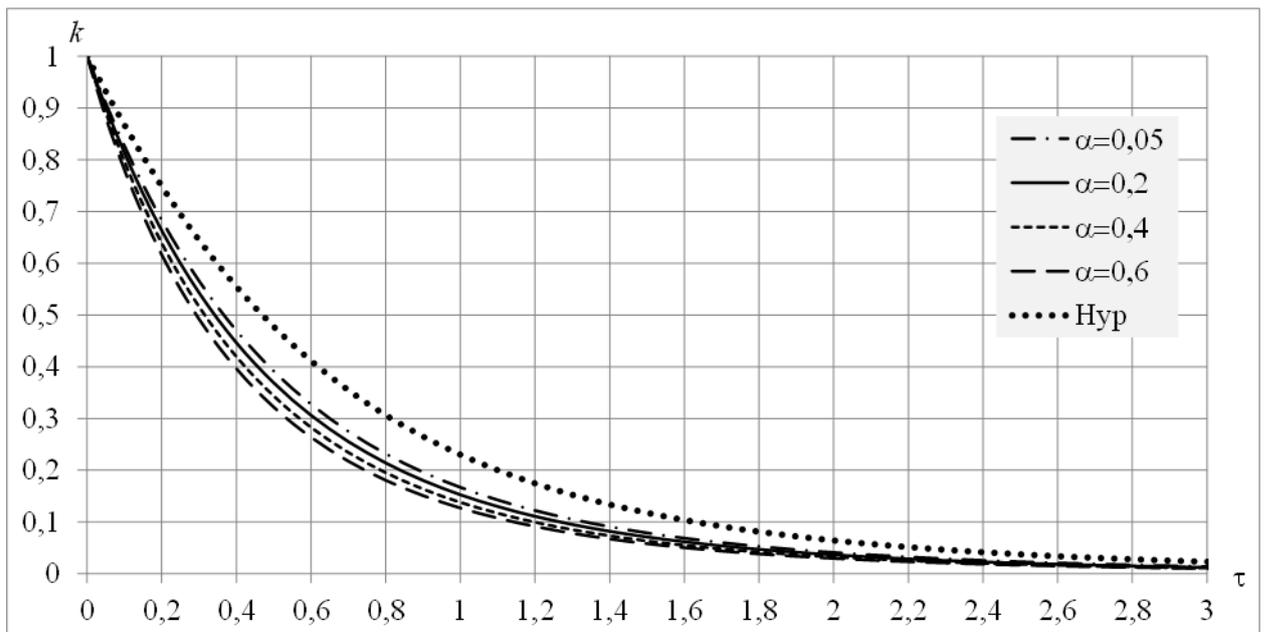


Рис. 3. Зависимость коэффициентов годности (относительной стоимости) машин класса 2 от относительного возраста для разных значений параметра α .

6. Учёт утилизационной стоимости

Построенная в разделе 5 зависимость относилась к машинам с нулевой утилизационной стоимостью. При ненулевой утилизационной стоимости во все предыдущие рассуждения приходится вносить существенные поправки.

Как уже говорилось в разделе 2, в конце экономического срока службы интенсивность приносимых машиной выгод должна сравняться с произведением rU ставки дисконтирования на утилизационную стоимость машины, тогда как коэффициент снижения выгод $b(\tau)$ в этот момент обращается в нуль. Становится некорректной и формула (2.7), где утилизационная стоимость не учтена. Оказывается, есть возможность преодолеть эти трудности.

Как уже отмечалось, выгоды, приносимые активом в некотором периоде, мы определили как стоимость произведенной продукции за вычетом операционных затрат. Если при исчислении выгод включить в состав операционных затрат ещё и упущенную выгоду от утилизации машины, мы получим новый показатель — назовём его *чистыми* выгодами. Интенсивность чистых выгод от эксплуатации машины теперь будет отличаться от интенсивности «обычных» выгод на величину rU . При этом к концу экономического срока службы она будет уменьшаться до нуля. Это позволяет описывать динамику чистых выгод теми же моделями, что и ранее, т.е. считать коэффициент снижения интенсивности чистых выгод с возрастом функцией $b(t/T)$ от относительного возраста. Если к тому же принять интенсивность чистых выгод, приносимых новой машиной, за единицу, то у машины возраста t лет она составит $b(t/T)$.

Рассмотрим теперь стоимость машины возраста t как сумму двух слагаемых:

$C(t) = [C(t) - U] + U = \bar{C}(t) + U$. Первое слагаемое $C(t) - U = \bar{C}(t)$ здесь отражает стоимость машины, как средства производства определённой продукции, а второе – стоимость машины, как объекта утилизации. При этом с увеличением возраста меняется только первое слагаемое, уменьшаясь до нуля к концу срока службы. Нетрудно проверить, что в таком случае вместо (2.7) будет иметь место похожее равенство:

$$\bar{C}(s) = \int_s^T b(t/T)e^{-r(t-s)} dt. \quad (6.1)$$

После этого все дальнейшие рассуждения раздела 5 сохранятся, и мы получим те же выражения для коэффициентов k и i , только применяться они должны не к стоимости новой машины $C(0)$, а к разности $C(0) - U$ (в МСФО эта разность именуется амортизируемой суммой). Поэтому обесценение $D(t)$ и стоимость $C(t)$ машины возраста t должны рассчитываться по следующим формулам, упомянутым в разделе 2:

$$D(t) = [C(0) - U]i(\tau), \quad C(t) = C(0) - I(t) = [C(0) - U]k(\tau) + U. \quad (6.2)$$

При этом «настоящая» относительная стоимость (коэффициент годности, отношение стоимости машины к стоимости аналогичной новой машины), будет связан с $k(\tau)$ равенством:

$$\frac{C(t)}{C(0)} = (1 - u)k(\tau) + u,$$

где $u = U/C(0)$ – относительная утилизационная стоимость машины.

Вернёмся теперь к рис. 2, который теперь отражает динамику разности между стоимостью машины и её утилизационной стоимостью. Обратим внимание, что с возрастом стоимости машин разных классов снижаются по-разному. Медленнее всего они снижаются для машин класса 3. В связи с этим напомним, что в системе национальных счетов ряда стран используется логнормальное, экспоненциальное или гамма-распределение сроков службы. «Хвосты» этих распределений намного тяжелее, чем для машин класса 3. Поэтому при таких распределениях стоимости машин с увеличением относительного возраста будут убывать ещё медленнее, чем на рис.2. При этом стоимости машин, отработавших 3-5 средних сроков службы, окажутся существенно выше их утилизационной стоимости, что не подтверждается рыночными данными. Это не позволяет рекомендовать использование указанных распределений при стоимостной оценке машин.

7. Заключение

При определении обесценения подержанных машин и оборудования обычно не учитывается или недостаточно адекватно учитывается их деградация, утилизационная стоимость и вероятностный характер срока их службы.

Предлагаемый метод позволяет учесть указанные обстоятельства. Он базируется на основных положениях теории стоимостной оценки, теории национальных счетов и теории надёжности, а также использует данные о вероятностном распределении сроков службы некоторых видов и марок машин. Проведенный анализ показывает, что при стоимостной оценке машин следует ориентироваться на распределение Вейбулла сроков их службы, тогда как использование логнормального, экспоненциального и гамма-распределений может приводить к существенным ошибкам в оценке достаточно старых по возрасту машин.

В предложенном методе предполагался известным средний срок службы машин оцениваемой марки (S) и класс, к которому они относятся (т.е., по существу, коэффициент вариации срока службы ν). Между тем, при наличии достаточно большой информации о рыночных ценах машин разного возраста, значения этих характеристик можно оценить. Для этого следует подобрать их так, чтобы наблюдаемые цены машин возможно более точно аппроксимировались их средними стоимостями, рассчитанными данным методом. Подобный приём для других моделей обесценения машин использовался нами, например, в [9; 12].

Библиография:

1. Международные стандарты оценки: вступают в силу 31 января 2020 года / пер. с англ. – Москва: Российское общество оценщиков, 2020. – 193 с.
2. Европейские стандарты оценки 2016 / пер. с англ. А. И. Артеменков ; науч. ред. Г. И. Микерин. – 8-е изд. – Москва : Российское о-во оценщиков, 2017. – 427 с.
3. Вейг, Н. В. Оценка стоимости машин и оборудования: Учебное пособие / Н. В. Вейг Санкт-Петербург.: СПбГУЭФ, 2009. – 124 с.
4. Справочник оценщика машин и оборудования. Корректирующие коэффициенты и характеристики рынка машин и оборудования. Таблицы. Графики / Л. А. Лейфер, Н. Н. Фролова, Д. В. Дюбюк и др. ; под редакцией Л. А. Лейфера ; Приволжский центр методического и информационного обеспечения оценки. – Изд. 2-е. – Нижний Новгород : РИДО, 2019. – 320 с.
5. Лейфер, Л. А. Определение остаточного срока службы машин и оборудования на основе вероятностных моделей / Л. А. Лейфер, П. М. Кашникова // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2008. – №1(76). – с.66-78.
6. Об утверждении Методологических указаний по расчету потребления основного капитала : Приказ Росстата от 09.02.2011 № 32. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 03.03.2021).

7. Острейковский, В. А. Теория надежности : учебник для студентов высших учебных заведений / В. А. Острейковский. – Москва : Высшая школа, 2003. – 463 с.
8. Система национальных счетов 2008 / Европейская комиссия, Международный валютный фонд, Организация экономического сотрудничества и развития, ООН, Всемирный банк. – Нью-Йорк, 2012. – с. 827.
9. Смоляк, С. А. Зависимость стоимости машин от возраста: проблемы и модели / С. А. Смоляк // Аудит и финансовый анализ. – 2014. – №5. – с. 138-150.
10. Смоляк, С. А. Стоимостная оценка машин и оборудования / С. А. Смоляк // – 2016, М.: Опцион. – 377 с.
11. Смоляк, С. А. О вероятностных моделях для оценки остаточного срока службы и износа машин и оборудования / С. А. Смоляк // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2017. – № 2 (185). – с.75-87.
12. Смоляк, С. А. О динамике обесценения машин со случайным сроком службы / С. А. Смоляк // Труды ИСА РАН. – 2020. – Т. 70, № 1. – с. 55-64
13. Оценка машин и оборудования: учебник / М.А. Федотова, А.П. Ковалёв, А.А. Кушель [и др.]; под ред. М.А. Федотовой. – 2-е изд. – Москва: ИНФРА-М, 2018. – 324 с.
14. Assessors' Handbook 581. Equipment and Fixtures Index, Percent Good and Valuation Factors // California State Board of Equalization. – January 2020. – URL: <https://boe.ca.gov/proptaxes/pdf/ah58120.pdf> (дата обращения: 03.03.2021).
15. Assessors' Handbook 582. The Explanation of the Derivation of Percent Good Factors // California State Board of Equalization. – February 1981. – URL: <https://boe.ca.gov/proptaxes/pdf/ah582.pdf> (дата обращения: 03.03.2021).
16. Australian System of National Accounts. Concepts, Sources and Methods // Australian Bureau of Statistics. - URL: <https://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/Lookup/5216.0Main+Features12015?OpenDocument> (дата обращения: 03.03.2021).
17. Expected service lives and depreciation profiles for capital assets : Evidence based on a survey of Norwegian firms / N. Barth, A. Cappelen, T. Skjerpen [and others] // Journal of Economic and social measurement. – 2016. – V. 41. – p. 329-369.

18. Eurostat-OECD survey of national practices in estimating net stock of structures // Organisation for Economic Co-operation and Development. –
URL: <https://www.oecd.org/sdd/na/Eurostat-OECD-survey-of-national-practices-estimating-net-stocks-structures.pdf> (дата обращения: 03.03.2021).
19. Hulten, C. R. The measurement of economic depreciation / C. R. Hulten, F. C. Wykoff // In: Depreciation, Inflation, and the Taxation of Income from Capital / under ed. C.R. Hulten. – January 1981. – p. 81-125.
20. Review of international best practice in the production of productivity statistics. Final report / DIW Econ, London Economics, 2017. –
URL: <https://www.ons.gov.uk/economy/economicoutputandproductivity/productivitymeasures/articles/reviewofinternationalbestpracticeintheproductionofproductivitystatistics/2018-02-07> (дата обращения: 03.03.2021).

New model for the valuation of used machinery and equipment

Sergey Smolyak

*Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy of Sciences
47, Nakhimovsky prospect, 117418, Moscow, Russia*

Abstract

The greatest difficulty in the valuation of used equipment, including in the national accounts formation, is the determination of its relative value (Percent Good Factor, the ratio of the equipment's value to the value of its new analogue). To solve this problem, we propose a new model that takes into account the requirements of the valuation standards. In doing so, we rely on information about the durability of equipment and duration and its repair and maintenance cost. We consider the service life of equipment item with its rational use as a random variable depending on the conditions of its operation and having the Weibull distribution. The state of the equipment item in fixed operating conditions is characterized by its accumulated operating time. We derive the parametric dependence of the intensity of the benefits brought by the equipment from its state and service life. The main parameter of this dependence reflects the decrease in the utilization rate of the equipment item over time by the end of its service life. In accordance with valuation standards, we define the value of equipment item as the sum of the expected discounted benefits from its subsequent rational use. For practical purposes, we divide equipment into classes that differ in the coefficient of variation of the service life. As calculations have shown, the relative value of equipment item for each class can be roughly calculated depending on its relative age (the ratio of age to average service life). If necessary, here you can take into account the fact that the utilization rate of the machine over time decreases in the process of its use. However, this factor has a rather weak influence on the value of equipment.

Key words: machinery, equipment, operating time, repair and maintenance, service life, Weibull distribution, valuation, percent good factor, benefits, national accounts

Date of publication: 01.07.2021

Citation link:

Smolyak S. New model for the valuation of used machinery and equipment // Herald of CEMI. – 2021. – Issue 1 [Electronic resource]. URL: <https://cemi.jes.su/s265838870014144-1-1/> (circulation date: 01.07.2021). DOI: 10.33276/S265838870014144-1