

Определение остаточного срока службы машин и оборудования на основе вероятностных моделей

Л.А. Лейфер

генеральный директор Приволжского центра финансового консалтинга и оценки, кандидат технических наук

П.М. Кашникова

помощник оценщика Приволжского центра финансового консалтинга и оценки

Определение остаточного срока службы и остаточного ресурса является важным элементом в процедуре оценки рыночной стоимости машин и оборудования.

В рамках затратного подхода определение остаточного срока службы (остаточного ресурса) необходимо для установления остаточной стоимости и, соответственно, стоимости замещения объекта. При реализации доходного подхода остаточный срок определяет период, в течение которого следует ожидать денежные потоки, поэтому его величина существенно влияет на расчетную величину рыночной стоимости. В рамках сравнительного подхода остаточный срок службы служит основанием для корректировки цен аналогов, отличающихся от оцениваемого объекта величиной отработавшего времени эксплуатации. Таким образом, точность оценки рыночной стоимости машин и оборудования в большой степени зависит от того, насколько правильно определен остаточный срок службы (остаточный ресурс) оцениваемого объекта. В зависимости от того, какой информацией обладает оценщик, возможно применение различных методов определения остаточного срока службы и остаточного ресурса. Наиболее надежный прогноз остаточного ресурса может быть осуществлен, если выполнить полномасштабное техническое диагностирование машины с использованием соответствующих средств диагностики и интроскопии [1]. Такой подход требует больших затрат и поэтому, за исключением случаев, когда оцениваются единичные и дорогостоящие машины или технологические линии, в широкой практике оценочной деятельности обычно не применяется. Методы индивидуального прогнозирования остаточного ресурса машин и конструкций, основанные на моделях физических процессов износа машин и конструкций (накопление усталостных повреждений, изнашивание механизмов и т. п.), изложенные в различных публикациях (см., например, [2, 3]), также не нашли практического применения при оценке стоимости машин в связи с их трудоемкостью и необходимостью применения сложного математического аппарата теории случайных процессов.

Наличие проблемы оценки стоимости больших массивов оборудования и машин привело к необходимости создания упрощенных технологий, обеспечивающих оценку «поток», используя минимум входной информации об объекте оценки [7–11]. Этим требованиям также отвечают технологии определения остаточного срока службы, опирающиеся на использование моделей линейного или экспоненциального износа [13, 18, 19].

Не будем рассматривать достоинства и недостатки этих методов. Заметим только, что в своей основе они опираются на детерминированные модели износа. При этом в рамках указанных моделей остаточный срок службы (ресурс) обычно определяется как разность между некоторым нормативным сроком службы и его эффективным возрастом.

В последние годы в практике оценки машин и оборудования начинает находить применение иной подход, основанный на методологии, развитой в рамках теории надежности машин и сложных конструкций [1]. В отличие от детерминированных моделей износа эта

методология базируется на представлении о том, что остаточный срок службы (ресурс) машины является случайной величиной, которую можно описать только вероятностными моделями [1–5, 17]. Такая методология расширяет возможности применения методов оценки и делает их наиболее соответствующими физическим процессам изнашивания, а также здравому смыслу. В рамках такой методологии при расчетах стоимости объекта возможно понять и учесть тот факт, что фактический срок службы может существенно превышать нормативный. При этом установленный в документации срок службы (ресурс) имеет смысл минимального срока эксплуатации (ресурса), в течение которого изготовитель гарантирует нормальную работу с большой вероятностью.

В настоящей статье статистический подход к задаче прогнозирования остаточного срока службы (ресурса) рассматривается на основе применения моделей, которые, по мнению авторов, могут оказаться наиболее приемлемыми во многих реальных ситуациях, связанных с оценкой машин в условиях, когда потеря стоимости в основном обусловлена физической деградацией объекта оценки.

Основные понятия, термины и определения

Поскольку проблемы, относящиеся к анализу сроков службы и ресурса технических устройств и конструкций (далее – объектов), исследуются в рамках методологии надежности, используемые в статье термины и определения в основном взяты из стандарта ГОСТ 27. 002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [15].

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Примечания:

1) объект может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособным, если, например, его дальнейшее применение по назначению станет недопустимым в соответствии с требованиями безопасности, экономичности и эффективности;

2) достижение предельного состояния не сводится только к физическому износу. Как видно из определения, переход в предельное состояние может быть также обусловлен влиянием факторов функционального устаревания;

3) обычно при достижении предельного состояния объект снимается с эксплуатации. Это, однако, не означает, что стоимость объекта, достигшего предельного состояния, равна нулю. Как показал анализ литературы (и это подтвердилось нашими исследованиями), стоимость объекта, достигшего предельного состояния, обычно составляет 10–20 процентов от начальной стоимости. Эта стоимость может включать стоимость оставшихся деталей, материалов и т. п.

Срок службы объекта – календарное время, равное периоду эксплуатации, отсчитываемое от ввода в эксплуатацию объекта до достижения предельного состояния (снятия с эксплуатации).

Ресурс объекта – полная наработка объекта, выраженная в часах, километрах и т. п., отсчитываемая от ввода в эксплуатацию объекта до достижения предельного состояния (снятия с эксплуатации).

Примечания:

1) обычно при стандартной эксплуатации наработка, измеренная в часах или километрах (для транспортных средств), связана пропорциональной зависимостью со сроком эксплуатации, поэтому в дальнейшем мы не будем делать различия между этими понятиями и использовать один из этих терминов, понимая, что все формулы, рассуждения и выводы, относящиеся к одному из них, в той же степени относятся и к другому;

2) фактические моменты достижения объектами предельного состояния могут существенно различаться в зависимости от индивидуальных свойств и условий эксплуатации объектов, поэтому срок службы, также как и ресурс объекта, следует считать случайными величинами. Они могут описываться только вероятностными моделями. В качестве такой модели обычно используется плотность распределения или закон распределения. В экономической методологии употребляется близкое понятие «кривая выживаемости». Более подробно вероятностные модели мы рассмотрим далее.

Средний срок службы (средний ресурс) – среднее значение случайной величины – срока службы (ресурса), отсчитываемое от ввода в эксплуатацию объекта до достижения им предельного состояния (снятия с эксплуатации).

Установленный (нормативный) срок службы (установленный ресурс) – срок эксплуатации, установленный в технической документации.

Примечания:

1) установленный (нормативный) срок службы характеризует долговечность объекта, его способность в течение установленного срока сохранять эксплуатационные характеристики. Изъятие объекта из эксплуатации по причине достижения им предельного состояния до завершения установленного срока эксплуатации считается маловероятным. При этом достижение объектом нормативного срока не означает, что объект достиг предельного состояния и должен быть снят с эксплуатации. Чтобы обеспечить уверенную эксплуатацию объекта в течение установленного срока, объект должен иметь некоторый запас прочности, который дает возможность уверенно эксплуатировать объект в течение нормативного срока и еще некоторое время после окончания этого срока. На заводе-изготовителе отработка и испытания объекта проводятся с целью обеспечения надежной эксплуатации в течение установленного срока (установленного ресурса) и обеспечения этого запаса. С вероятностной точки зрения установленный в документации срок представляет собой квантиль распределения ожидаемого срока службы;

2) следует различать средний срок службы и нормативный срок службы. Нормативный срок службы не является средним сроком службы, но он может использоваться в качестве исходной информации для определения среднего срока службы и других статистических параметров, характеризующих долговечность объекта;

3) если в конструкторской или эксплуатационной документации не указан срок эксплуатации, то в качестве нормативного срока может выступать величина, рассчитанная на основе нормы амортизации объекта соответствующего класса. По смыслу такая величина также характеризует долговечность объекта.

Возраст объекта – период времени от даты начала эксплуатации до текущего момента.

Остаточный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации объекта от текущего момента до достижения им предельного состояния. Остаточный срок службы отличается от срока службы тем, что в качестве начала отсчета принимается текущий момент, до которого он уже некоторое время эксплуатировался, а не начало эксплуатации.

Остаточный ресурс объекта – наработка объекта, выраженная в часах, километрах и т. п., от текущего момента до достижения им предельного состояния. Остаточный ресурс объекта отличается от ресурса объекта тем, что в качестве начала отсчета принимается текущий момент, до которого он уже некоторое время эксплуатировался, и объект часть начального ресурса исчерпал.

Примечания:

1) индивидуальные характеристики объекта (остаточный срок службы и остаточный ресурс) являются случайными величинами и точно могут быть определены лишь после того, как наступило предельное состояние объекта. Пока эти события не наступили, можно говорить лишь о прогнози-

ровании этих величин с большей или меньшей вероятностью. В связи с этим остаточный срок службы является прогнозируемым значением ожидаемого времени, по окончании которого объект достигнет предельного состояния и будет снят с эксплуатации. Следует особо подчеркнуть, что остаточный срок в общем случае не равен оставшемуся времени до достижения нормативного срока. Это же относится и к остаточному ресурсу;

2) поскольку остаточный срок службы (остаточный ресурс) – случайная величина, он может описываться только вероятностными моделями. В качестве такой модели так же, как и в случае начального срока службы (ресурса), может использоваться кривая выживаемости.

Средний остаточный срок службы (средний остаточный ресурс) – среднее значение случайной величины – остаточного срока службы (ресурса), отсчитываемого от текущего момента до достижения предельного состояния (снятия с эксплуатации).

Примечания:

1) следует четко понимать, что средний остаточный срок службы не показывает точный период времени, в течение которого будет эксплуатироваться оцениваемый объект. Он характеризует некоторый центр рассеивания моментов времени, вокруг которого (часть раньше, часть позже) будут сниматься с эксплуатации объекты этого класса, достигшие предельного состояния. Поскольку на момент оценки нельзя определить точное время, в течение которого объект еще способен эксплуатироваться, средний остаточный ресурс представляет собой наилучший ориентир для ожидаемого срока службы оцениваемого объекта;

2) средний остаточный срок службы зависит от начальных характеристик долговечности объекта и его возраста. Чем больше возраст объекта, тем меньше его средний остаточный срок. Таким образом, средний остаточный срок убывает по мере увеличения возраста объекта оценки. Однако достижение нормативного срока не означает, что средний остаточный срок службы равен нулю.

Вероятностные модели для описания срока службы (ресурса)

Поскольку срок службы является случайной величиной, для его описания следует использовать вероятностные модели. Вероятность того, что за время ϑ объект не достигнет предельного состояния, определяют следующим образом:

$$P(\vartheta) = P\{\tau \geq \vartheta\}.$$

Функция $P(\vartheta)$ показывает, сколько в среднем объектов «доживет» до времени ϑ , поэтому ее называют «кривой выживаемости».

Заданная таким образом кривая выживаемости связана с функцией распределения вероятностей $F(\vartheta)$ соотношением:

$$F(\vartheta) = 1 - P(\vartheta).$$

Плотность распределения времени до наступления предельного состояния $f(\vartheta)$ является производной от функции распределения:

$$f(\vartheta) = dF(\vartheta)/d = -dP(\vartheta)/d.$$

При этом если отсчет времени ведется от текущего момента τ , характеризующего время, до которого объект уже эксплуатировался, то $P(\vartheta/\tau)$ характеризует распределение вероятностей случайной величины – остаточного срока службы. На языке теории вероятностей $P(\vartheta/\tau)$ – условная вероятность того, что остаточный срок службы будет не менее ϑ при условии, что объект исправно функционировал до текущего момента τ .

Следует различать теоретическое распределение вероятностей и эмпирическое (или выборочное, то есть построенное по выборочным данным). Построить эмпирическое распределение на основе статистических данных не представляет принципиальных трудностей. Однако для того чтобы эмпирическое распределение могло быть непосредственно использовано для установления теоретического распределения, необходимы большие объемы данных, поэтому все выводы относительно теоретического распределения делаются на основе анализа природы данных, характера процессов, приводящих к предельному состоянию и ограниченного объема выборочных данных.

В литературе по оценке рыночной стоимости недвижимости, машин и оборудования при обсуждении вопросов, связанных с определением остаточного срока службы, получил распространение термин, заимствованный из теории актуарных расчетов (см., например, [8, 16]) – «кривая выживаемости» (survivor curve). Кривая выживаемости – это график, отображающий количество единиц из определенной группы активов, которые остаются функционирующими на некоторый момент времени t из прогнозного интервала. Другими словами, она характеризует процесс выбытия из эксплуатации объектов по мере достижения ими предельного состояния. Эта кривая представляет собой статистический аналог введенной нами вероятности $P(t)$. В дальнейшем под кривой выживаемости мы будем понимать теоретический и эмпирический (статистический) вариант функции $P(t)$.

Для описания кривой выживаемости используют различные законы распределения. К числу наиболее часто используемых в этих целях инструментов относят так называемые кривые выживаемости типа Айова [8, 16]. Они были разработаны в результате исследования эмпирических данных, относящихся к характеристикам сохранивших работоспособность всяких типов машин и оборудования. В дальнейшем они применялись для оценки остаточного срока полезного использования имущества торговых и коммунальных предприятий, электро- водо- и газоснабжения, железных дорог и т. д. В российской оценочной практике применительно к оценке машин подобные модели рассматривались в работах В.Н. Тришина [8–10]. Следует особо отметить, что в этих работах предложенные методы доведены до конкретных решений и, что особенно важно, программная система, реализующая эти методы, основана на входных данных, доступных практикующему оценщику. Кроме того, вероятностные модели для описания срока полезного использования применяются в задачах оценки стоимости объектов интеллектуальной собственности [12, 14]. В указанных работах для описания срока полезного действия используются известные вероятностные распределения, в частности модель Вейбулла и модели выживаемости типа Айова [16]. Наряду с моделями, предложенными в штате Айова, для вероятностного описания срока службы машин, механизмов, сложных технических систем также может использоваться логнормальное распределение, которое наряду с распределением Вейбулла получило широкое применение и развитие в теории надежности технических систем, машин и сложных конструкций [1].

Выбор того или иного распределения определяется характером преобладающих физических процессов, наличием исходной информации и возможностями вычислительных процедур.

Для практического использования вероятностных моделей для целей оценки рыночной стоимости необходимо ответить на два главных вопроса:

1) каким образом, опираясь на доступную информацию, определить параметры кривой выживаемости (параметры распределения срока службы – случайного времени до достижения предельного состояния)?

2) как определить характеристики остаточного срока службы, если известен возраст объекта и параметры распределения времени до достижения предельного состояния (кривой выживаемости)?

В настоящей статье предложена модель, позволяющая при принятых допущениях ответить на эти вопросы и тем самым создать реальные предпосылки для практического ис-

пользования вероятностных моделей в задачах определения остаточного срока службы машин и оборудования. В качестве такой модели используется логарифмически нормальное распределение, которое, по мнению авторов, в наибольшей степени адекватно процессам физического изнашивания, усталостного накопления повреждений и другим механизмам потери работоспособности машин и механизмов.

Логарифмически нормальное распределение можно вывести как статистическую модель для случайной величины, значения которой получаются в результате умножения большого числа случайных факторов. Логарифмически нормальное распределение применяется в самых различных областях (от экономики до биологии) для описания процессов, в которых наблюдаемое значение составляет случайную долю предыдущего значения. Обоснование применимости логарифмически нормального распределения для описания срока службы также основано на свойстве умножения эффектов, присущем этому распределению, поэтому оно получило широкое применение и развитие в работах по анализу процессов деградации механических систем [10].

Далее будут использоваться безразмерные характеристики календарного времени, равные отношению соответствующей временной характеристики к нормативному сроку службы (τ_n).

Обозначим безразмерное время, равное отношению срока службы (τ) к нормативному сроку службы (τ_n), буквой t :

$$t = \tau/\tau_n.$$

Тогда в соответствии с принятой моделью срока службы плотность распределения случайной величины (t) имеет вид (рис. 1):

$$f(t, \mu, \sigma) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right);$$

$$t > 0, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0.$$

Плотность распределения содержит всю информацию относительно срока службы. Однако для проведения непосредственно оценки необходимо знание основных характеристик этого распределения (μ и σ).

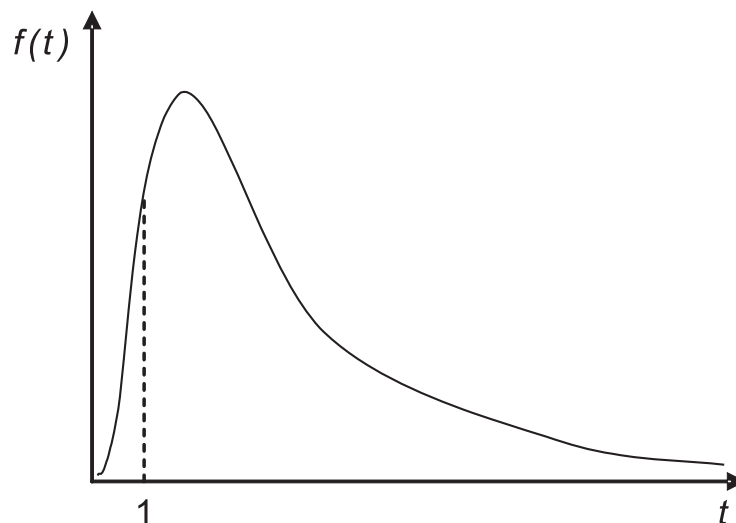


Рис. 1. Плотность распределения случайной величины (t)

Математическое ожидание (T), дисперсия (D) и коэффициент вариации (ρ) случайной величины t (срока службы, заданного в безразмерном виде) определяются через параметры распределения (μ и σ) следующим образом [1]:

$$T = e^{\mu + \sigma^2 / 2} . \quad (1)$$

$$D = e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1) . \quad (2)$$

$$\rho = \sqrt{D} / T = \sqrt{e^{\sigma^2} - 1} . \quad (3)$$

От нормативного срока службы к параметрам распределения фактического срока службы

Выполнить в процессе оценки испытания на долговечность объектов, подобных оцениваемому объекту, обычно не представляется возможным, поэтому для определения параметров распределения следует воспользоваться информацией, доступной оценщику. В качестве такой информации могут использоваться общие сведения относительно объекта оценки и нормативный срок службы, заданный в эксплуатационной документации. Как уже отмечалось, если отсутствуют данные о сроке службе, можно воспользоваться нормами амортизации, которые также несут информацию об оцениваемом объекте.

Проанализируем релевантную информацию, которая позволяет определить основные характеристики логнормального распределения.

Анализ литературы, обобщающей многочисленные исследования по надежности и долговечности машин и оборудования [1, 4], показывает, что коэффициент вариации для машин и оборудования лежит в пределах 0,3–0,4. Эта информация позволяет определить параметр распределения (D).

Для того чтобы нормативный срок службы, относящийся к объекту, можно было использовать для определения параметров распределения, учтем, что нормативный срок службы представляет собой календарное время, в течение которого объект должен исправно функционировать (более точно, не должен достигнуть своего предельного состояния). По существу, нормативный срок службы указывает минимальное время, в течение которого объект должен эксплуатироваться, если не происходит каких-либо нештатных ситуаций. Таким образом, если предположить, что объект с высокой вероятностью (например 0,9) должен прослужить в течение заданного срока, то с точки зрения принятой модели нормативный срок представляет собой 10-процентный квантиль распределения. Используя указанную ранее информацию и соответствующие допущения, легко рассчитать параметры логнормального распределения и построить кривую выживаемости, характеризующую процесс выбытия оцениваемых объектов за период эксплуатации.

Зададим уровень α . Он будет представлять собой вероятность того, что объект оценки достигнет предельного состояния до истечения нормативного срока, который, в свою очередь, определяется интегралом:

$$\int_0^1 f(t, \mu, \sigma) dt = \alpha . \quad (4)$$

Используя уравнение (4) и соотношения (1), (2) и (3), можно рассчитать значения безразмерного среднего срока службы (T) по заданным значениям α и ρ . Напомним, что безразмерный средний срок службы (T) является величиной, равной отношению среднего значения фактического срока службы к нормативному сроку службы.

В таблице 1 представлены результаты таких расчетов для различных значений α и ρ .

Таблица 1

Значения безразмерного среднего срока службы (T)

$\alpha \backslash \rho$	0,05	0,1	0,2
0,2	1,419068	1,320486	1,20925
0,3	1,716007	1,540335	1,349859
0,4	2,095936	1,814845	1,521962
0,5	2,58571	2,159766	1,733253

Также можно рассчитать параметры логнормального распределения, характеризующего вероятностные свойства процесса выбытия объектов оценки из эксплуатации. На рисунках 2 и 3 представлены соответственно плотность распределения сроков службы машин, оборудования и конструкций и кривая выживаемости (иногда ее называют кривой смертности), описывающая процесс выбытия объектов из эксплуатации.

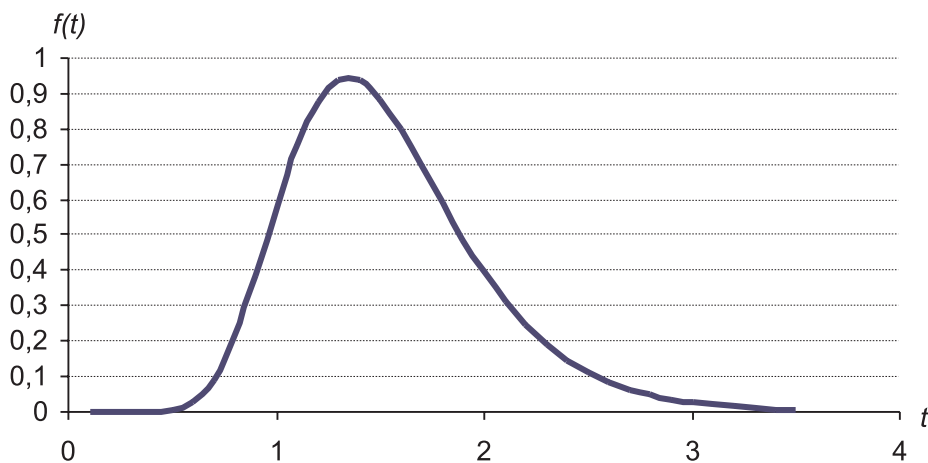


Рис. 2. Плотность распределения срока службы ($\rho = 0,3; \alpha = 0,1$)

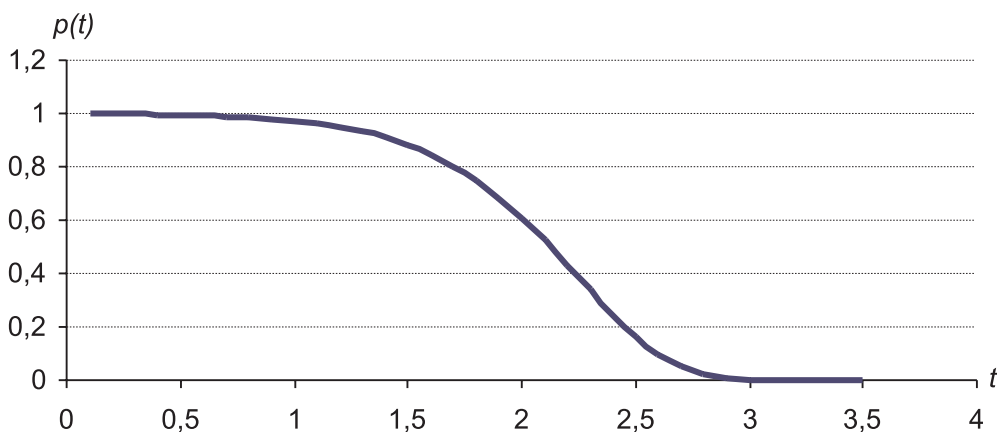


Рис. 3. Кривая выживаемости ($\rho = 0,3; \alpha = 0,1$)

При этом плотность распределения и кривая выживаемости построены исходя из условий: $\rho = 0,3; \alpha = 0,1$. Основанием для выбора таких исходных данных послужили два обстоятельства:

1) у механических систем предельное состояние наступает в основном из-за физического изнашивания и усталостного накопления повреждения, поэтому, опираясь на многочисленные исследования в теории надежности (см., например, [1,4,17]), в качестве коэффициента вариации может быть принята величина, равная 0,3–0,4;

2) нормативный срок (назначенный), указанный в конструкторской или эксплуатационной документации, представляет собой не что иное, как минимально допускаемый срок

эксплуатации объекта, в течение которого объект не должен достигать своего предельного состояния. Поскольку тем не менее такую возможность нельзя исключить полностью, мы исходим из того, что объект снимается с эксплуатации и списывается не более, чем в 10 процентах случаев. В результате кривая выживаемости в основном характеризует процесс выбытия объектов в период времени после нормативного срока службы. Естественно, что в соответствии с таким предположением средний срок службы объекта, который используется в дальнейших расчетах по оценке, превышает нормативный срок службы, что вполне оправдано с точки зрения реальной картины рынка.

Остаточный срок службы

Если объект достиг некоторого возраста, то естественно ожидать, что остаточный срок службы для него несколько уменьшится. При этом чем выше возраст объекта (при условии одинаковой истории жизни объектов), тем меньше его остаточный срок. Это утверждение отвечает всем известным моделям потери стоимости и здравому смыслу.

В этом случае распределение остаточного срока службы оцениваемого объекта и, соответственно, кривая выживаемости, характеризующая вероятностный процесс выбытия объектов этого класса, доживших до определенного возраста, могут быть рассчитаны исходя из условного распределения вероятностей.

Условная плотность логарифмически нормального распределения остаточного срока службы (рис. 4), выраженного в относительных единицах, отвечающая условию, что объект дожил до возраста τ , определяется следующим образом:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} e^{-\frac{(\lg t - \mu)^2}{2\sigma^2}} & \text{при } t > \frac{\tau}{\tau_H} \\ 0 & \text{при } t \leq \frac{\tau}{\tau_H} \end{cases} \quad (5)$$

Дальнейшие расчеты и соответствующие графики построены в предположении, что коэффициент вариации $\rho = 0,3$ и допустимый уровень выбытия объектов из эксплуатации до достижения ими нормативного срока $\alpha = 0,1$.

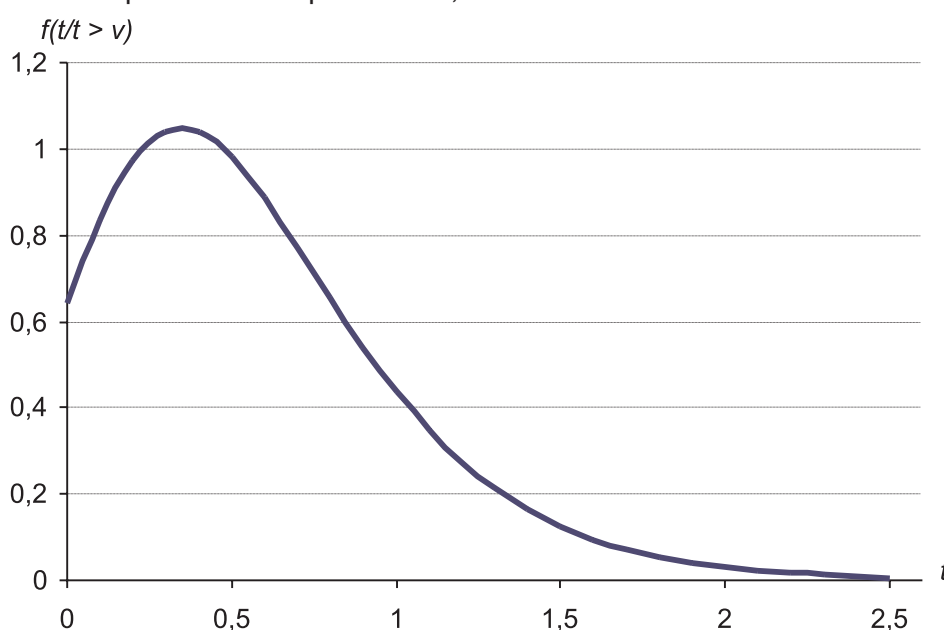


Рис. 4. Условная плотность распределения остаточного срока службы при условии, что объект эксплуатировался до текущего момента

Заметим, что v – возраст объекта на момент оценки в относительных единицах, численно равный фактическому времени эксплуатации, деленному на нормативный срок службы:

$$v = \tau/\tau_n.$$

Зная плотность распределения остаточного срока службы (выражение (5)), можно определить среднее значение остаточного срока службы T (в относительных единицах) при условии, что объект уже эксплуатировался некоторое время (τ). На рисунке 5 приводится зависимость среднего значения остаточного срока службы от фактического срока эксплуатации, предшествующего дате оценки. Эта зависимость построена путем статистического моделирования случайных величин, генерируемых упомянутой плотностью распределения, и последующего расчета среднего значения и медианы. Полученные результаты отражают вероятностную природу долговечности машин и более соответствуют реалиям, чем детерминированные модели. В частности, они учитывают, что достижение объектом нормативного срока не означает, что ресурс полностью исчерпан. При параметрах, заложенных в приведенных расчетах, объект, отработавший свой нормативный срок, сохраняет возможность дальнейшей эксплуатации в среднем еще в течение до 40 процентов времени от нормативного срока. Оставшийся срок учитывает заложенный запас по ресурсу машины, поскольку нормативный срок не есть срок полного исчерпания ресурса. Из графика (рис. 5) также видно, что с увеличением предшествующего срока эксплуатации среднее значение остаточного срока службы убывает и объект, проработавший существенно больше своего нормативного срока службы, в скором времени ожидает достижение предельного состояния.

Приведенные далее примеры показывают, как изложенной теорией можно пользоваться в практических расчетах в процессе оценки рыночной стоимости машин и оборудования.

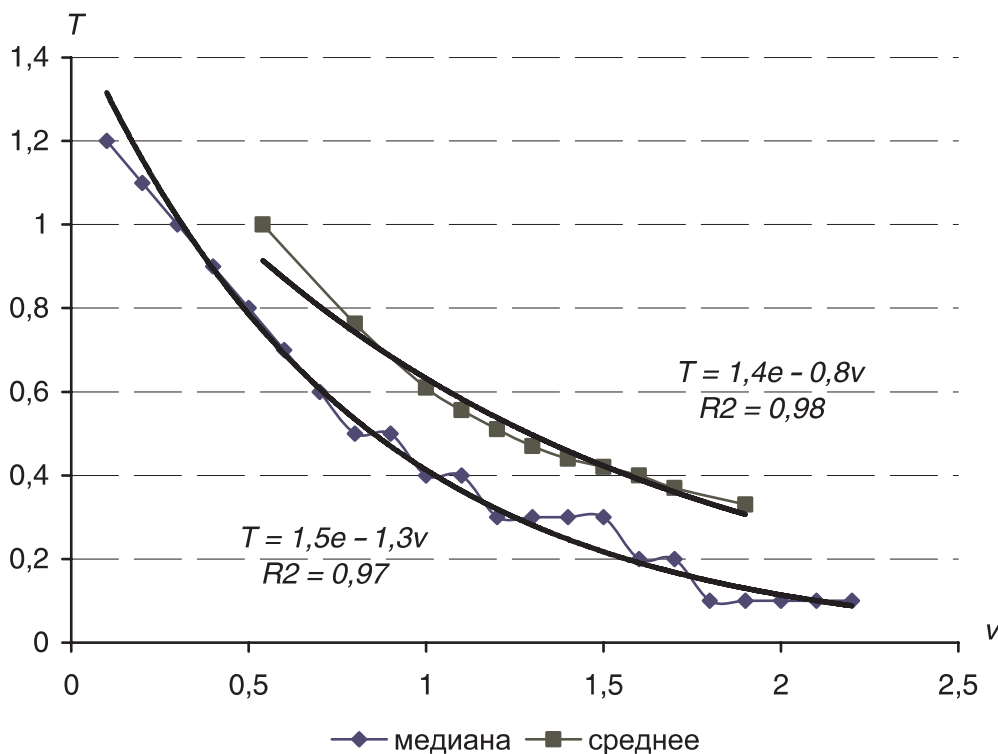


Рис. 5. Зависимость среднего значения остаточного срока (T) от предшествующего срока эксплуатации (v)

Примеры расчета остаточного срока движимого имущества

В заключение приведем примеры определения среднего остаточного ресурса, иллюстрирующие процесс оценки остаточного срока службы при оценке машин и оборудования с использованием графика для среднего значения остаточного ресурса (рис. 5).

Пример 1

Исходные положения:

- объектом оценки является сложная технологическая линия с заданным нормативным сроком службы, равным 20 годам;
- оборудование приобретено у диллеров и поставлено на эксплуатацию 14 лет назад. Линия эксплуатировалась в штатных условиях с соблюдением всех требований эксплуатационной документации (планово-предупредительные ремонты, профилактика и т. п.) В настоящее время она находится в рабочем состоянии;
- деградационные процессы происходили под воздействием физического изнашивания и усталостного накопления повреждений, поэтому коэффициент вариации можно принять равным 0,3.

Определение среднего остаточного срока службы требуется, чтобы установить период, в течение которого следует ожидать, что объект будет генерировать денежные потоки. Определение этой величины требуется для реализации доходного подхода.

Расчет

В качестве исходных данных используются:

- нормативный срок – 20 лет;
- текущий возраст – 14 лет (в относительных единицах $14/20 = 0,7$).

Из графика определяем средний остаточный срок службы в относительных единицах, который составит 0,6.

Отсюда средний остаточный срок: $0,6 \times 20 = 12$ лет.

Пример 2

Исходные положения:

- объект оценки – сельскохозяйственный трактор, нормативный срок службы которого согласно конструкторской документации составляет 12 лет;
- трактор был приобретен в торговой сети и эксплуатировался в штатном режиме. Полный срок службы 12 лет;
- на текущий момент трактор является работоспособным, то есть способным выполнять заданные функции в соответствии с требованиями нормативно-технической и конструкторской документации. Ресурсные параметры находятся в допустимых пределах;
- деградационные процессы, относящиеся к ресурсным параметрам (зазоры в сопряжениях, износы в подшипниках, шестеренках, валах и т. п.), в основном происходили под воздействием физического изнашивания, поэтому коэффициент вариации срока службы можно принять равным 0,3.

Определение остаточного срока службы требуется, чтобы установить величину потери стоимости объекта, прослужившего полный срок службы и при этом не достигшего предельного состояния, в рамках затратного подхода.

Расчет

Исходные данные:

- нормативный срок – 12 лет;
- текущий возраст – 12 лет (в относительных единицах $12/12 = 1$).

Из графика определяем средний остаточный срок службы в относительных единицах, который составит 0,4.

Таким образом, средний остаточный срок: $0,4 \times 12 = 4,8$ года.

Отсюда, если считать величину износа методом экономической жизни, получим:

Износ = текущий возраст/текущий возраст + средний остаточный ресурс.

Износ = $12 / (12 + 4,8) = 0,7$.

Используя полученную величину износа в качестве исходных данных, можно рассчитать текущую стоимость объекта.

Пример 3

Исходные положения:

- объект оценки – импортный легковой автомобиль выпуска 1993 года, приобретен на вторичном рынке. На текущий момент возраст автомобиля составляет 11 лет;
- в эксплуатационной документации отсутствуют данные о нормативном сроке эксплуатации. Однако некоторое представление о нем дают нормы амортизации, отражающие средний срок эксплуатации объектов такого класса. Исходя из норм амортизации нормативный срок эксплуатации автомобиля этого класса равен 7 годам;
- на текущий момент автомобиль является работоспособным, то есть способным выполнять заданные функции в соответствии с требованиями нормативно-технической и конструкторской документации. Ресурсные параметры находятся в допустимых пределах;
- деградационные процессы, относящиеся к ресурсным параметрам (зазоры в сопряжениях, износы в подшипниках, шестеренках, валах и т. п.), в основном происходили под воздействием физического изнашивания, поэтому коэффициент вариации срока службы можно принять равным 0,3.

Несмотря на то, что автомобиль отслужил нормативный срок эксплуатации, принято решение продолжать его эксплуатацию, поскольку автомобиль находится в хорошем состоянии. Это должно найти отражение в оценке рыночной стоимости основных средств предприятия. Для этого требуется определить остаточный срок эксплуатации.

Расчет

Используем в качестве исходных следующие данные:

- нормативный срок – 7 лет;
- текущий возраст – 11 лет (в относительных единицах $11/7 = 1,5$).

Из графика определяем средний остаточный срок службы (в относительных единицах), который составит 0,3.

Таким образом, средний остаточный срок равен $0,3 \times 7 = 2,1$ года.

Выводы

1. В статье описывается подход, позволяющий спрогнозировать остаточный срок службы при минимуме исходной информации. Исходными данными для прогнозирования среднего значения остаточного срока службы являются нормативный срок эксплуатации объекта и фактический срок эксплуатации, предшествующий моменту оценки.

2. В неявном виде изложенный метод учитывает информацию о механизмах изнашивания. Эта информация содержится в величине коэффициента вариации срока службы, заложенного в расчетные формулы, что повышает информативность метода, давая ему дополнительные преимущества по сравнению с упрощенной моделью.

3. Изложенный в статье подход опирается на использование вероятностных моделей и развивает методы определения статистических характеристик остаточного срока служ-

бы, основанные на использовании кривых выживаемости, успешно используемых в актуарных расчетах.

4. Принципиальным в предложенной модели является признание того, что нормативный срок службы не равен ожидаемому сроку жизни, в течение которого объект достигает предельного состояния. В основе метода лежит допущение, что в подавляющем большинстве случаев (не менее чем в 90 процентах) объект должен успешно проработать в течение всего нормативного срока, не достигнув предельного состояния.

5. В качестве базовой вероятностной модели используется логарифмически нормальное распределение, которое наряду с распределением Вейбулла и кривыми выживаемости, получившими название «кривые Айова», позволяют описать процесс выбытия объектов из эксплуатации по мере достижения ими предельного состояния.

6. В рамках изложенного метода не предполагается индивидуальный анализ технического состояния оцениваемого объекта, который, безусловно, способствовал бы повышению точности прогноза остаточного срока службы (остаточного ресурса) каждого конкретного объекта. Таким образом, изложенный метод может быть использован для массовой оценки стоимости машин, когда требуется минимизировать затраты на проведение оценки большого количества машин и оборудования.

7. Описание метода и его интерпретация относятся к оценке машин и оборудования. Однако с небольшими уточнениями метод может быть применен для определения остаточного срока службы объектов недвижимости, объектов интеллектуальной собственности и других объектов оценки, для которых срок службы или срок полезного использования можно считать случайной величиной.

Литература

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 томах. М.: Машиностроение, 1987.

2. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984.

3. Лейфер Л.А. Методы прогнозирования остаточного ресурса машин и их программное обеспечение. М.: Знание, 1988.

4. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. М.: Высшая школа, 1988.

5. Шинкевич О.К. Проблемы определения среднего срока службы оборудования: Тезисы доклада / Материалы научной конференции молодых ученых и студентов «Инновации в экономике – 2007». М.: ИЦ МГТУ «Станкин», 2007.

6. Есин М., Кислый М., Ковалев А. Наглядное представление методов оценки машин и оборудования // Оборудование. 2003. № 6 (78).

7. Яскевич Е.Е. Машины и оборудование. Оценка «потокком» / <http://www.labrate.ru>

8. Тришин В.Н. О начислении износов при массовой оценке имущественного комплекса предприятия // Вопросы оценки. 2005. № 2 (<http://www.okp-okp.ru/>).

9. Тришин В.Н., Шатров М.В. Основные задачи и технические решения, реализованные в компьютерной системе помощи оценщику и аудитору ASIS // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2004. № 11 (<http://www.okp-okp.ru/>).

10. Тришин В.Н., Шатров М.В. Метод экспресс-оценки для крупного предприятия // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2002. № 10.

11. Ковалев А.П., Курова Е.В. Массовая оценка оборудования: методика и проблемы // Вопросы оценки. 2003. №№ 1, 2.

12. David R. Bogus, Estimating the Remaining Useful Life of Intellectual Property // Insights, Summer 2006.

13. Козлов В.В. Техника оценки машин и оборудования // Вопросы оценки. 2002. № 2.

14. Авдеев С.Н., Козлов Н.А., Рутгайзер В.М. Оценка рыночной стоимости клиентелы –

нематериального актива компании. М.: Международная академия оценки и консалтинга, 2006.

15. ГОСТ 27. 002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Госстандарт СССР, 1989.

16. *Anston Marson, Robley Winfrey, Jean C.Hempstead*. Engineering Valuation and Depreciation. Iowa State University Press, 1982.

17. *Лейфер Л.А., Разживина В.С.* Вероятностное описание характеристик усталости на основе распределения Кептейна / В кн.: Точность и надежность механических систем. Исследование деградации машин. Рига, 1988.

18. *Андрианов Ю.В., Юдин А.В.* Систематизация методов расчета при оценке машин и оборудования // Московский оценщик. 2003. № 4 (23).

19. Методическое руководство по определению стоимости автотранспортных средств с учетом естественного износа и технического состояния на момент предъявления. РД 37.009.015-98 с изменениями №№ 1, 2, 3, 4. М., 2005.

ИНФОРМАЦИЯ. СОБЫТИЯ



Предновогодняя встреча в Московском бизнес-клубе

5 декабря 2007 года в Москве в Президент-отеле прошло последнее в 2007 году мероприятие Московского бизнес-клуба (МБК), которое провела директор МБК *Анна Маркина*. На деловой встрече присутствовали более 60 представителей банковского, брокерского, риелторского, страхового, оценочного сообществ.

Главными темами встречи стали обсуждение итогов 2007 и прогноз на 2008 год. Оценку потенциала рынка недвижимости с точки зрения инвестиционной привлекательности дала председатель совета директоров ИГ *Sesegar Ирина Жарова-Райт*.

Собравшиеся не могли не коснуться темы финансового кризиса. Был проведен всесторонний анализ влияния кризиса на российский бизнес в целом.

О том, как отразился кризис ликвидности на финансовом рынке, рассказал управляющий директор компании «Финнам Менеджмент» *Сергей Хестанов*. Сергей подчеркнул, что кризис в США заставил пересмотреть политику управления рисками российских игроков, что привело к снижению предложения и росту ставок на рынке МБК.

Участники встречи уделили внимание грядущим выборам, отметив, что проводимая правительством политика регулирования заключается в сохранении стабильной политической и экономической ситуации.

Заместитель директора отдела исследований рынка компании *Knight Frank Наталья Пронина* коснулась проблемы влияния финансового кризиса в Европе на рынок российской недвижимости. Проанализировав развитие кризиса в Европе и его последствия, Наталья спрогнозировала последствия и будущих рисков, в частности замедление темпов роста ипотечных заемщиков и, как следствие, снижение платежеспособного спроса, трудности с проектным финансированием строительства.

Участники рынка недвижимости – *Наталья Пастухова* («ПИК»), *Алла Цытович* (Банк Москвы), *Виталий Ус* («Росно»), *Дмитрий Пугашкин* («ВСК») и многие другие – высказали свои мнения об итогах года и представили прогнозы на 2008 год.

Отдельной тематикой бизнес-встречи стал анализ рынка аренды и динамики ставок. Анализ рынка коммерческой недвижимости на 2007–2008 годы представил главный редактор портала *Arendator.ru Евгений Бондарчук*. О стратегии для владельцев и арендаторов в 2008–2009 годах рассказал первый вице-президент по стратегическому развитию компании *Blackwood Михаил Гец*. Свои позиции также озвучили *Алексей Пеков* (КГ «Эксперт»), *Андрей Кузнецов* («Бест-недвижимость»), *Сергей Киприянов* (Московский ипотечный центр) и многие другие участники встречи.