
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

ОЦЕНКА РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ МАШИН, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ

© 2012 г. С.А. Смоляк

(Москва)

Для установления зависимости стоимости машины от ее возраста применен модифицированный метод дисконтирования денежных потоков. При этом предполагается, что оцениваемая машина будет использоваться наиболее эффективным способом. Построенная нами модель позволяет, используя доступную рыночную и техническую информацию, оценивать подержанные машины, учитывая улучшение их характеристик после капитального ремонта, а также влияние налогообложения и инфляции.

Ключевые слова: машины, оборудование, наиболее эффективное использование, капитальный ремонт, эффективный возраст, рыночная стоимость, коэффициенты годности, выгоды, дисконтирование.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Рассматривается проблема оценки рыночной стоимости подержанных машин и оборудования. При этом используются следующие определения.

Под “машинами” мы понимаем отдельно оцениваемые установки, машины, оборудование и транспортные средства. Машины подразделяем на *виды*, а каждый вид – на *марки* (этим термином для краткости обозначаем также разные модели и модификации). Принимается, что разные марки машин одного вида используются для одних и тех же целей: они способны производить ту же продукцию, выполнять те же работы или оказывать те же услуги (в противном случае мы будем относить их к другому виду машин). Это позволяет считать их взаимозаменяемыми и конкурирующими друг с другом на рынке товарами. Поэтому машина – типичный представитель *массового* имущества, которое изготавливается (производится, создается) серийно и обращается на рынке в достаточно большом количестве. Рынок машин каждой марки делится на первичный и вторичный. На *первичном* рынке продаются машины *в новом состоянии* (только что изготовленные), на *вторичном* – подержанные (бывшие в эксплуатации). Реальных или потенциальных владельцев машин считаем рентабельно функционирующими фирмами, подпадающими под действие обычной системы налогообложения.

Оценка стоимости имущества (*property valuation theory*) – прикладная экономическая дисциплина, являющаяся теоретической базой оценочной деятельности (*property valuation*). Она изучает проблемы оценки разных видов стоимости различных типов имущества на разные даты оценки. Полученные в этой теории результаты и лучшая практика их применения обобщены в *стандартах оценки*, в том числе Международных (МСО 2007).

Оценкой стоимости имущества (оценочной деятельностью) занимаются профессиональные *оценщики*, вырабатывающие свое *суждение*, руководствуясь прежде всего стандартами оценки и моделируя процесс установления сторонами цены в гипотетической сделке купли-продажи имущества. Стоимость имущества всегда определяется на некоторую *дату оценки*, которая может отличаться от даты реальной оценки или составления отчета об оценке.

Имеется несколько видов стоимости. Но основным является *рыночная* (*market value*). В (Международные стандарты оценки, 2007) она определяется как «расчетная денежная сумма, за которую состоялся бы обмен имущества на дату оценки между заинтересованным продавцом в результате коммерческой (“на расстоянии вытянутой руки”) сделки после проведения надле-

жащего маркетинга, при которой каждая из сторон действовала бы, будучи хорошо осведомленной, расчетливо и без принуждения» (Международные стандарты оценки, 2007, ОППО, п. 5.2).

Теоретически можно эксплуатировать машину различными *способами*. К примеру, одну и ту же машину можно использовать в разных технологических процессах, например для выполнения разных работ. Однако способы использования машины могут различаться не только технологически. Например, разными будут способы использования машины в одном и том же технологическом процессе, различающиеся сроками службы или моментами проведения капитальных ремонтов.

Один из принципов оценки (принцип НЭИ) требует оценивать стоимость имущества применительно к его наиболее эффективному использованию (НЭИ, Highest and Best Use, HABU). Под наиболее эффективным будем понимать признаваемый рынком, технически возможный и юридически допустимый способ использования, которому отвечает наибольшее значение стоимости. Тем самым стоимостная оценка имущества становится, по сути, оптимизационной задачей. Для нахождения наиболее эффективного способа мы сформируем некоторую совокупность “приемлемых” способов использования машины и будем выбирать лучший из них. Более подробное изложение такой трактовки принципа НЭИ приведено в нашей статье (Смоляк, 2011а, 2011б).

С учетом разнообразной природы и мобильности машин их стоимость должна оцениваться при дополнительных допущениях. Далее мы будем говорить только о той рыночной стоимости, которая оценивается при допущении, что машина оценивается как отдельный объект, не изменяющий своего местоположения при продаже (“стоимость машины на месте”)¹.

Вслед за оценщиками мы принимаем, что стоимость машины зависит только от ее технического состояния. Рыночную стоимость машины в новом состоянии мы будем считать известной величиной – она оценивается как сумма затрат на ее приобретение, доставку к месту использования и (при необходимости) монтаж. Рыночная стоимость подержанной машины меньше, чем у машины в новом состоянии на ту же дату оценки. Разность этих стоимостей оценщики называют *износом* (depreciation), а их отношение мы называем *коэффициентом годности*. Таблицы таких коэффициентов² для машин разных видов и возраста приводятся в литературе, например в (Оценка стоимости машин, 2003; Oklahoma tax commission, 2010; California State Board of Equalization, 2010; Marshall Valuation Service, 2011). При этом стоимость подержанных машин определяется путем умножения стоимости новых машин той же марки (устанавливаемой по данным первичного рынка) на соответствующий коэффициент годности. Российские оценщики в аналогичных случаях используют проценты *износа*, дополняющие проценты годности до 100%.

В процессе использования машина подвергается физическому износу – ее техническое состояние ухудшается. Частично его можно улучшить, отремонтировав машину, однако после ремонта состояние машины снова начнет ухудшаться. Предполагается, что по достижении определенного состояния машина должна утилизироваться. Ее рыночная стоимость в этот момент называется *утилизационной*. Значения относительной (в процентах к стоимости машины той же марки в новом состоянии) утилизационной стоимости по многим видам машин в США можно найти, например, в (Marshall Valuation Service, 2011; Oklahoma tax commission, 2010; California State Board of Equalization, 2010). Обычно они лежат в пределах от 10 до 20%. Для машин разных марок, но одного вида относительные утилизационные стоимости обычно достаточно близкие.

2. ЭРГОДИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИЗНОСА МАШИН. ОСНОВНЫЕ ИДЕИ

Рассматриваются машины одной и той же марки в один и тот же момент времени – на дату оценки, и термин “машина”, если не сказано иное, относится только к таким машинам. При оценке машины предполагается, что после даты оценки она будет использоваться наиболее эффективно. Однако до этой даты она могла использоваться как-то иначе.

¹ Стоимость той же машины, оцененная при допущении, что машина подготовлена к перемещению на новое место, будет больше на величину затрат на демонтаж.

² В США их выражают в процентах и именуют Percent Good Factor. Публикуемые значения этих коэффициентов используются также оценщиками-ассессорами при оценке имущества в целях налогообложения.

Машины, которые с момента ввода в эксплуатацию использовались наиболее эффективно, назовем “нормальными”, все остальные – “ненормальными”. *Выгоды* от использования нормальной машины на некотором отрезке времени мы понимаем как рыночную стоимость произведенной ею продукции (работ, услуг) за вычетом затрат на производство. Поскольку процесс использования машины протекает непрерывно, соответствующий поток выгод удобно характеризовать *интенсивностью* этих выгод. Принимается, что эта интенсивность зависит только от технического состояния машины, а оно, в свою очередь, определяется ее возрастом. Возраст, по достижении которого машину следует утилизировать, назовем *рациональным сроком службы*.

Поскольку возраст ненормальной машины может неадекватно отражать ее техническое состояние – оценщики характеризуют такую машину *эффективным возрастом*, – он определяется как рациональный срок службы машины за вычетом экспертно оцениваемого оставшегося срока ее наиболее эффективного использования. Тем самым ненормальная машина как бы приравнивается (по техническому состоянию и стоимости) к нормальной машине той же марки соответствующего эффективного возраста.

На этом основании далее мы будем рассматривать только нормальные машины и, говоря о возрасте, опускать термин “эффективный”.

В (Оценка стоимости машин, 2003; Основы оценки, 2006; Международные стандарты оценки, 2007) и других работах изложены различные методы стоимостной оценки машин. В (Смоляк, 2008, 2009) в этих целях предложен новый метод, основанный на эргодической модели износа машин. Изложим вкратце основную идею этого метода.

Один из методов стоимостной оценки машин основывается на **принципе дисконтирования**: стоимость имущества на некоторую дату оценки равна сумме дисконтированных выгод от наиболее эффективного использования имущества в течение некоторого периода (в пределах рационального срока службы) и дисконтированной стоимости имущества в конце периода.

Обычно этот принцип применяют следующим образом. Пусть T – рациональный срок службы машины; $B(t)$ – интенсивность выгод от использования машины в момент t , U – ее утилизационная стоимость. Тогда стоимость машины на дату оценки (в момент 0) определяется формулой:

$$K = \int_0^T e^{-rt} B(t) dt + U e^{-rT}, \quad (1)$$

где r – ставка дисконтирования.

Однако формулу (1) трудно практически применять: для этого надо прогнозировать выгоды от использования машины на далекую перспективу, поскольку сроки службы машин нередко достигают 15–20 лет. Более того, если темпы инфляции в стране с течением времени меняются, в (1) надо учитывать и зависимость ставки дисконтирования от времени. Между тем этих трудностей можно избежать, применяя принцип дисконтирования иначе. Следуя (Смоляк, 2008), продемонстрируем это вначале для ситуации, когда *цены в стране стабильны, а налоги отсутствуют*.

Каждая (нормальная) машина на дату оценки характеризуется своим возрастом. Пусть T – рациональный срок службы машин (возраст, по достижении которого наиболее эффективным становится утилизировать машину), $K(t)$ – стоимость машины, имеющей на дату оценки возраст t лет. Тогда величина $K(0)$ отразит стоимость машины в новом состоянии, а $K(T) = U$ – утилизационную стоимость машин.

Возьмем машину возраста t лет. За малый период времени dt она принесет выгоды в размере, примерно равном $B(t)dt$. В конце периода возраст машины станет равным $t + dt$, а стоимость – $K(t + dt)$, поскольку при отсутствии инфляции стоимость машины зависит только от ее возраста, но не от того, когда она достигла этого возраста.

Отсюда и из принципа дисконтирования вытекает следующее равенство, справедливое с точностью до малых более высокого порядка (здесь и далее такие равенства будем обозначать знаком “ $\approx$ ”):

$$\begin{aligned} K(t) &= B(t)dt + e^{-rdt}(t + dt) \approx B(t)dt + (1 - rdt)[K(t) + K'(t)dt] \approx \\ &\approx K(t) + [K'(t) - rK(t) + B(t)]dt. \end{aligned} \quad (2)$$

Но такое равенство возможно, только если

$$K'(t) - rK(t) + B(t) = 0. \quad (3)$$

Стоимость машины в возрасте T лет, очевидно, равна утилизационной, так что $K(T) = U$. Решив уравнение (3) с этим краевым условием, получим:

$$K(t) = \int_t^T e^{-r(\tau-t)} B(\tau) d\tau + U e^{-r(T-t)}. \quad (4)$$

Полученная формула напоминает (1), но имеет совершенно иной смысл. В формуле (1) суммируются выгоды от использования одной оцениваемой машины за весь оставшийся срок ее службы, к этому же периоду относится и ставка дисконтирования. Между тем в формуле (4) суммируются выгоды от использования машин той же марки разного возраста, а экспоненты, входящие в подынтегральное выражение, представляют собой лишь веса, приписываемые машинам разного возраста. Другими словами, суммирование по времени здесь заменено суммированием по состояниям машины. Здесь уместно провести аналогию с эргодическими процессами, в которых среднее значение по траектории движения системы равно среднему значению по возможным состояниям этой системы в фиксированный момент времени. На этом основании подобные модели можно именовать *эргодическими*. В них для оценки машины необходимо знать размеры выгод от использования машин разного возраста только на дату оценки, но не на перспективу. Ставка дисконтирования при этом относится не к какой-то далекой перспективе, как в формуле (1), а к малому отрезку времени, начинающемуся с даты оценки.

Отметим также, что принцип дисконтирования, а стало быть, и формула (2) справедливы только в предположении, что машина используется наиболее эффективным способом. В противном случае в этой формуле левая часть должна быть не меньше правой. Соответственно, знак равенства в (3) при этом заменится знаком " $\leq$ ". Легко убедиться, что тогда и в (4) знак равенства заменится на " $\geq$ ". Это значит, что наиболее эффективному способу использования машины отвечает максимальное значение правой части (4).

Отсюда можно вывести и условие, определяющее рациональный срок службы машин. Действительно, из изложенного следует, что рациональный срок службы T является решением оптимизационной задачи:

$$K(0) = \int_0^T e^{-r\tau} B(\tau) d\tau + U e^{-rT} \Rightarrow \max.$$

Легко проверить, что условие оптимальности T имеет вид:

$$B(T) = rU. \quad (5)$$

Если интенсивность выгод от использования машины уменьшается с возрастом, то полученное уравнение имеет единственное решение.

Перейдем теперь к рассмотрению более реалистичной ситуации, где надо будет учитывать налог на прибыль, налог на имущество и инфляцию.

Начнем с того, что оценщики разных стран, систематически используя таблицы коэффициентов годности, по сути, считают эти коэффициенты достаточно стабильными (не требующими частого пересмотра) даже в условиях инфляции. Далее, про поддержанную машину обычно известно, по какой цене она продавалась на первичном рынке, однако на дату оценки таких машин на первичном рынке может и не быть. В таких ситуациях для оценки стоимости машины в новом состоянии используются индексы-дефляторы, отражающие темпы роста цен на машины соответствующего вида в ретроспективном периоде. Этот метод описан, например, в (Оценка стоимости машин, 2003). Значения таких индексов для США указаны, например, в (California State Board of Equalization, 2010; Oklahoma tax commission, 2010). Но тогда, применяя одинаковый индекс-дефлятор к машинам разного возраста, оценщик, по сути, допускает, что их стоимости со временем изменяются пропорционально, а коэффициенты годности не меняются. Таким образом, при практической оценке машин предполагается вполне определенный тип инфляции,

назовем ее *групповой*, которая не влияет на коэффициенты годности. Такую инфляцию на дату оценки можно охарактеризовать одним числом – темпом групповой инфляции (i), отражающим относительный прирост стоимости машин данного вида за малую единицу времени³. Поэтому если стоимость машины возраста t на дату оценки составляла $K(t)$, то через малое время dt стоимость машины того же возраста будет в $1 + idt$ раз больше, т.е. составит $(1 + idt)K(t)$.

Повторим теперь вывод соотношений (3)–(4) с некоторыми изменениями и дополнениями. При этом, однако, выгоды от использования машины придется характеризовать другим измерителем. Дело в том, что в состав расходов, учитываемых при измерении выгод, входят налоги на прибыль и на имущество, а их величина в конечном счете зависит от той самой стоимости машины, которую требуется оценить. На этом основании удобно ввести в рассмотрение показатель *доналоговых выгод*, определяемый как стоимость произведенной за соответствующий период продукции за вычетом затрат на производство, в состав которых мы не включаем ни амортизационные отчисления, ни налоги на прибыль и имущество (такой показатель близок по величине и содержанию к EBITDA – прибыли до начисления амортизации и уплаты налогов и процентов по займам). Интенсивность доналоговых выгод по машине возраста t будем обозначать через $B(t)$.

Рассмотрим участника рынка, который покупает машину в возрасте t лет по рыночной стоимости $K(t)$, использует ее в течение малого периода времени dt и затем продает (также по рыночной стоимости). Рассчитаем вначале налоги от указанных операций.

Налог на имущество найдем, умножая годовую ставку налога (m) на стоимость машины и на длительность периода времени⁴: он составит $mK(t)dt$.

Далее за время dt на машину будет начислена амортизация в размере $K(t)a(t)dt$, где $a(t)$ – амортизационная ставка за единицу времени, зависящая от амортизационной политики участника.

В результате налогооблагаемая прибыль от *использования* машины за время dt составит $B(t)dt - K(t)a(t)dt - mK(t)dt$.

Через время dt машина, возраст которой будет уже $t + dt$, будет иметь остаточную (налоговую) стоимость $K(t) - K(t)a(t)dt$. Но ее рыночная стоимость в этот момент будет иной – как показано выше, она составит:

$$(1 + idt)K(t + dt) \approx (1 + idt)[K(t) + K'(t)dt] \approx K(t) + [iK(t) + K'(t)]dt.$$

Налогооблагаемой прибылью от *продажи* здесь будет цена продажи за вычетом остаточной стоимости машины:

$$K(t) + [iK(t) + K'(t)]dt - [K(t) - K(t)a(t)dt] = [iK(t) + K'(t) + K(t)a(t)]dt.$$

Суммируя прибыли от использования и от продажи машины, найдем совокупную налогооблагаемую прибыль:

$$B(t)dt - K(t)a(t)dt - mK(t)dt + [iK(t) + K'(t) + K(t)a(t)]dt = [B(t) + (i - m)K(t) + K'(t)]dt.$$

Налог на прибыль (по ставке n) при этом будет равен

$$n[B(t) + (i - m)K(t) + K'(t)]dt.$$

Учтем теперь, что в соответствии с принципом дисконтирования стоимость машины на дату оценки равна сумме дисконтированных (по *номинальной посленалоговой* ставке r_d) посленалоговых чистых выгод от ее последующего использования. В данном случае эти чистые выгоды будут включать доналоговые выгоды $B(t)dt$ и выручку $K(t) + [iK(t) + K'(t)]dt$ от продажи машины в момент времени dt за вычетом налогов на имущество и на прибыль. С точностью до величин,

³ Указанный темп может отличаться от темпа роста цен производителей в соответствующей отрасли. На него влияют совершенствование технологии изготовления машин данной марки, изменение спроса на эти машины, а также появление на рынке машин того же вида, но других, конкурирующих марок.

⁴ В ряде случаев владелец несет и другие расходы, зависящие от стоимости машины (адвалорные), например расходы на страхование. В таких ситуациях далее под m следует понимать общую годовую ставку адвалорных расходов.

малых по сравнению с dt , мы можем отнести все эти составляющие, кроме выручки от продажи, к дате оценки. Тогда данное условие примет вид:

$$K(t) = B(t)dt - mK(t)dt - n[B(t) + (i - m)K(t) + K'(t)]dt + \\ + (1 - r_a dt) \{K(t) + [iK(t) + K'(t)]dt\} \approx K(t) + (1 - n) \left[K'(t) - \left(\frac{r_a}{1 - n} + m - i \right) K(t) + B(t) \right] dt.$$

Легко увидеть, что такое равенство возможно только тогда, когда выражение в квадратной скобке обращается в нуль, т.е. когда $K'(t) - rK(t) + B(t) = 0$, где

$$r = \frac{r_a}{1 - n} - i + m. \quad (6)$$

Другими словами, зависимость стоимости машины от возраста и в этом случае описывается уравнением (3), в котором в качестве $B(t)$ выступает интенсивность доналоговых выгод от использования машины, а налоги и инфляция учитываются в величине ставки дисконтирования. Этот результат (без учета налога на имущество) был получен в (Смоляк, 2008, 2009), где соответствующая ставка была названа *специальной*. Поясним ее смысл. Начнем с того, что при установлении ставки дисконтирования оценщики ориентируются на доходности различных финансовых инструментов. Но публикуемые их значения – доналоговые, поэтому на их основе можно установить только доналоговую ставку дисконтирования (r_p). В нашей же модели используется посленалоговая ставка дисконтирования (r_a). Обычно ее находят, умножая доналоговую ставку на так называемый налоговый корректор $1 - n$. В результате получается, что $r_a = r_p(1 - n)$, а тогда формула (6) дает: $r = r_p - i + m$. Таким образом, специальная ставка r не совпадает с “обычной” доналоговой, а получается путем ее уменьшения на темп групповой инфляции и увеличения на ставку налога на имущество.

Приведем пример. Пусть ставка налога на имущество – 2,2%, годовая доналоговая ставка дисконтирования – 15%, а цены на машины данной марки растут на 6,5% в год. Тогда непрерывная доналоговая ставка дисконтирования будет равна $\ln 1,15 = 0,140$, а непрерывный темп групповой инфляции $i = \ln 1,065 = 0,063$. В таком случае

$$r = 0,140 - 0,063 + 0,022 = 0,099.$$

Машины, которые мы рассматриваем, время от времени проходят капитальные ремонты. После них необходимо немного скорректировать основную формулу (4). Будем относить к первому межремонтному циклу машины, еще не прошедшие ремонта, ко второму – прошедшие один ремонт и т.д. Далее мы ограничимся достаточно типичной ситуацией, когда на протяжении рационального срока службы каждая машина проходит только **один** капитальный ремонт и в каждом межремонтном цикле интенсивность приносимых ей выгод снижается с возрастом. В период, когда машина ремонтируется, выгоды от ее использования отрицательны и по абсолютной величине совпадают с затратами на ремонт. Однако обычно длительность проведения ремонта мала, и ей можно пренебречь. Будем поэтому считать, что наиболее эффективный способ использования машин предполагает их (мгновенный) ремонт по достижении определенного возраста S , затраты на такой ремонт составляют P . В таком случае формула (4) будет справедлива только для машин во втором межремонтном цикле (имеющих возраст $t > S$), а для машин в первом цикле (имеющих возраст $t < S$) она должна быть скорректирована:

$$K(t) = \int_t^T e^{-r(\tau-t)} B(\tau) d\tau + U e^{-r(T-t)} - P e^{-r(S-t)}. \quad (7)$$

Заметим также, что машина возраста S имеет две стоимости: одна отражает стоимость машины в первом межремонтном цикле (до ремонта), а вторая – во втором (после ремонта), и именно ее мы будем обозначать через $K(S)$. При этом стоимость машины до ремонта будет, очевидно, равна $K(S) - P$. Теперь, немного преобразовав формулы (4) и (7), запишем их так:

1) для машин во втором межремонтном цикле ($t \geq S$):

$$K(t) - U = \int_t^T e^{-r(\tau-t)} [B(\tau) - rU] d\tau; \quad (8)$$

2) для машин в первом межремонтном цикле ($t < S$):

$$K(t) - U = \int_t^T e^{-r(\tau-t)} [B(\tau) - rU] d\tau + [K(S) - U - P] e^{-r(S-t)}. \quad (9)$$

Выше было показано, что при отсутствии инфляции и налогов принцип дисконтирования, а следовательно, и формула (4) справедливы только в случае наиболее эффективного использования машин, тогда как в противном случае знак равенства в (4) заменяется на “ $\geq$ ”. Другими словами, наиболее эффективному способу использования машин отвечает максимальное значение правой части (8) или (9).

Отсюда легко выводится условие рациональности срока службы машин. Действительно, рассмотрим машину в возрасте S , прошедшую ремонт. Рациональный срок службы T при этом обеспечивает максимальное значение правой части (8) и поэтому является решением оптимизационной задачи:

$$\int_S^T e^{-r(\tau-t)} B(\tau) d\tau + U e^{-r(T-t)} \Rightarrow \max.$$

Приравняв к нулю производную левой части этого выражения по T , получим, что для оптимального срока службы выполняется равенство (5): $B(T) = rU$. Поскольку во втором межремонтном цикле функция $B(t)$ с ростом t убывает, это уравнение имеет единственное решение. Таким образом, к концу рационального срока службы интенсивность выгод от использования машины должна составлять rU .

Обратим теперь внимание на то, что способы использования машин, практически используемые основной массой их владельцев, в условиях рыночной экономики близки к наиболее эффективным. В частности, близки к рациональным и типичные сроки службы машин. Сведения о рациональных сроках службы машин разных видов есть и в оценочной литературе. Например, их можно найти в (California State Board of Equalization, 2010; Oklahoma tax commission, 2010; Marshall Valuation Service, 2011). Близки к рациональным и сроки службы, принимаемые в финансовой отчетности для начисления амортизации, особенно если эта отчетность составляется по МСФО. О рациональных сроках службы машин можно судить и по тому, в какую классификационную группу отнесены машины при расчете налога на прибыль (классификация основных средств, включаемых в амортизационные группы, утверждена Приложением к Постановлению правительства Российской Федерации от 1 января 2002 г. № 1 с последующими изменениями). Учитывая это обстоятельство, мы будем рассматривать рациональный срок службы машин (T) как известную величину, а равенство $B(T) = rU$ – как ограничение, которому должна удовлетворять функция $B(t)$.

Казалось бы, аналогично можно считать известной и рациональную длительность первого межремонтного цикла S . Однако капитальные ремонты машин производятся отнюдь не всегда в оптимальные сроки, поэтому фактически наблюдаемые длительности первого межремонтного цикла могут сильно отличаться от рациональных. Далее при изменении S меняется не только начало второго межремонтного цикла, но и вся имеющая место в этом цикле зависимость $B(t)$. Это не позволяет напрямую вывести из (8)–(9) какое-то простое условие оптимальности S . По этой причине проблема выбора оптимального S будет решаться в следующем разделе.

3. ПРИМЕНЕНИЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ ГОДНОСТИ

Если зависимость $B(t)$ интенсивности доналоговых выгод от возраста машины известна, то уравнения (8)–(9) позволяют определить стоимость подержанной машины любого возраста. Однако обычно такие зависимости неизвестны, поскольку большинство машин производит продукцию (работы, услуги), не обращающиеся на рынке, а данные о производительности и эксплуата-

ционных затратах по машинам разного возраста носят отрывочный характер. По этой причине непосредственно применить формулы (8)–(9) для оценки подержанных машин не удастся. Однако есть возможность преодолеть указанную трудность. Для этого, опираясь на экономические и технические соображения, можно построить параметрическое семейство функций $B(t)$ и с помощью (8)–(9) определить отвечающие им функции $K(t)$. После этого, располагая информацией о рыночной стоимости нескольких машин разного возраста и даже на разные даты, можно оценить те значения параметров, которые лучше всего согласуются с этой информацией.

Эта идея была реализована в (Смоляк, 2008, 2009) применительно к машинам, не проходящим капитальных ремонтов. Здесь была предложена следующая параметрическая зависимость:

$$B(t) = H \frac{1 - e^{\mu(t-T)}}{\mu} + rU.$$

Такая модель вполне адекватно описывает две ситуации.

1. Производительность машины не зависит от ее возраста, а эксплуатационные затраты на производство продукции экспоненциально (с положительным темпом μ) растут.

2. Производительность машины с возрастом экспоненциально (с отрицательным темпом μ) снижается, соответственно, снижается и часть эксплуатационных затрат, тогда как другая их часть не зависит от возраста.

В общем случае, когда с возрастом меняются и производительность машины, и все составляющие эксплуатационных затрат, эта модель может рассматриваться как приближение (как показывают экспериментальные расчеты – достаточно точное). Параметр μ при этом отражает темп изменения “переменной части” выгод от использования машины при увеличении ее возраста и может рассматриваться как технологическая характеристика соответствующей марки (а возможно, и вида) машин. По нашим оценкам, для большинства видов машин $\mu > 0$.

К сожалению, для машин, проходящих ремонты, рассматриваемая модель не подходит. Чтобы в этом убедиться, представим ее в таком виде:

$$B(t) = \left[H \frac{1 - e^{-\mu T}}{\mu} + rU \right] - H e^{-\mu T} \frac{e^{\mu T} - 1}{\mu}. \quad (10)$$

Уменьшаемое в этой формуле можно трактовать как интенсивность выгод от использования машины в новом состоянии $B(0)$, а вычитаемое – как снижение интенсивности выгод за счет физического износа.

Заметим теперь, что физический износ машин можно разделить на устранимый и неустраняемый. Между тем формула (10) отражает только неустраняемый износ, увеличивающийся с возрастом, и не учитывает износа, устраняемого при проведении капитального ремонта. Исправим этот недостаток, заменив вычитаемое двумя составляющими, отражающими как устранимый, так и неустраняемый износы, и изменив обозначения коэффициентов. Тогда зависимость $B(t)$ примет вид:

$$B(t) = B(0) - h \left[q \frac{e^{\mu t} - 1}{\mu} + \frac{e^{\mu t} - 1}{\mu} \right] = B(0) - h \frac{(q+1)e^{\mu t} - (q+1)}{\mu} \quad (11)$$

для машин в первом межремонтном цикле ($t < S$) и

$$B(t) = B(0) - h \left[q \frac{e^{\mu t} - 1}{\mu} + \frac{e^{\mu(t-S)} - 1}{\mu} \right] = B(0) - h \frac{(q + e^{-\mu S})e^{\mu t} - (q+1)}{\mu} \quad (12)$$

для машин во втором межремонтном цикле ($t \geq S$).

Здесь, как и раньше, $B(0)$ – интенсивность выгод от использования машины в новом состоянии, первое слагаемое в квадратных скобках отражает неустраняемый износ, второе – устранимый износ, возникающий в процессе производительной работы машины и определяемый временем от начала межремонтного цикла до даты оценки.

Параметры зависимостей (11)–(12) связаны рядом соотношений.

Идея первого из них, правда, по другому поводу, высказана в (Основы оценки, 2006). Рассмотрим машину, используемую явно нерационально, а именно неработающую. В период, когда машина простаивает, она не подвергается устранимому износу, зато подвергается неустранимому износу. Технические специалисты обычно могут оценить срок L , по истечении которого неработающая машина (например находящаяся на хранении) приходит в негодность. Обычно этот срок в 2–4 раза превышает рациональный срок службы машины.

Выясним, какую интенсивность выгод обеспечит рассматриваемая машина возраста L , если начать ее использовать по своему назначению. С одной стороны, по достижении этого возраста использование машины для производства продукции становится неэффективным, стало быть, ее стоимость становится утилизационной, а интенсивность выгод от ее использования обращается в rU . С другой стороны, эту интенсивность можно описать формулой (11), если подставить в нее $t = L$ и исключить составляющую, отражающую устранимый износ. Отсюда находим:

$$B(0) - hq \frac{e^{\mu L} - 1}{\mu} = rU. \quad (13)$$

Используя (13), можно несколько упростить формулы (11) и (12):

$$B(t) - rU = h \frac{q e^{\mu L} + 1 - (q + 1)e^{\mu t}}{\mu}, \quad t < S; \quad (14)$$

$$B(t) - rU = h \frac{q e^{\mu L} + 1 - (q + e^{-\mu S})e^{\mu t}}{\mu}, \quad t \geq S. \quad (15)$$

Теперь можно найти стоимости машин разного возраста.

А именно: для машин во втором межремонтном цикле ($t \geq S$) формулы (8) и (15) дают:

$$\begin{aligned} K(t) - U &= \int_t^T h \frac{q e^{\mu L} + 1 - (q + e^{-\mu S})e^{\mu \tau}}{\mu} e^{-r(\tau-t)} d\tau = \\ &= \frac{h(q e^{\mu L} + 1)}{\mu} \frac{1 - e^{-r(T-t)}}{r} - \frac{h(q + e^{-\mu S})}{\mu} \frac{e^{\mu T - r(T-t)} - e^{\mu t}}{\mu - r}. \end{aligned} \quad (16)$$

В частности, при $t = S$ отсюда находим:

$$K(S) - U = \frac{h(q e^{\mu L} + 1)}{\mu} \frac{1 - e^{-r(T-S)}}{r} - \frac{h(q + e^{-\mu S})}{\mu} \frac{e^{\mu T - r(T-S)} - e^{\mu S}}{\mu - r}. \quad (17)$$

Для машин в первом межремонтном цикле ($t < S$) из (9), (14) и (17) имеем:

$$\begin{aligned} K(t) - U &= \int_t^S e^{-r(\tau-t)} \left[h \frac{q e^{\mu L} + 1 - (q + 1)e^{\mu \tau}}{\mu} \right] d\tau + [K(S) - U - P] e^{-r(S-t)} = \\ &= \frac{h}{\mu} (q e^{\mu L} + 1) \frac{1 - e^{-r(T-t)}}{r} - \frac{h}{\mu} (q + 1) \frac{e^{(\mu-r)S+rt} - e^{\mu t}}{\mu - r} - \\ &\quad - \frac{h}{\mu} (q + e^{-\mu S}) \frac{e^{(\mu-r)T} - e^{(\mu-r)S}}{\mu - r} e^{rt} - P e^{-r(S-t)}. \end{aligned} \quad (18)$$

В частности, при $t = 0$ отсюда находим:

$$\begin{aligned} K(0) - U &= \frac{h}{\mu} (q e^{\mu L} + 1) \frac{1 - e^{-rT}}{r} - \frac{h}{\mu} (q + 1) \frac{e^{(\mu-r)S} - 1}{\mu - r} - \\ &\quad - \frac{h}{\mu} (q + e^{-\mu S}) \frac{e^{(\mu-r)T} - e^{(\mu-r)S}}{\mu - r} - P e^{-rS}. \end{aligned} \quad (19)$$

Поскольку стоимость машины в новом состоянии $K(0)$ – известная величина, определяемая на основе цен первичного рынка, полученное равенство позволяет связать S и h :

$$h = \frac{\mu[K(0) - U + P e^{-rS}]}{(q e^{\mu L} + 1) \frac{1 - e^{-rT}}{r} - (q + 1) \frac{e^{(\mu-r)S} - 1}{\mu - r} - (q + e^{-\mu S}) \frac{e^{(\mu-r)T} - e^{(\mu-r)S}}{\mu - r}}. \quad (20)$$

Далее нам понадобятся соотношения, определяющие величины q и S . В этих целях рассмотрим машины, для которых зависимость интенсивности выгод от возраста задается формулами (11)–(12) или, что то же, формулами (14)–(15). Если бы такие машины использовались в течение срока, отличного от T , их стоимость была бы меньше. Это значит, что (при фиксированных q и h) производная правой части (19) по T обращается в нуль. Разумеется, можно произвести соответствующие выкладки, однако мы придем к результату, полученному в предыдущем разделе: в конце рационального срока службы интенсивность выгод от использования машины равна rU . В силу (15) это условие примет вид:

$$h \frac{q e^{\mu L} + 1 - (q + e^{-\mu S}) e^{\mu T}}{\mu} = 0,$$

откуда следует, что

$$q = \frac{e^{\mu(T-S)} - 1}{e^{\mu L} - e^{\mu T}}. \quad (21)$$

Аналогично если бы такие машины ремонтировались бы в возрасте, отличном от S , их стоимость была бы меньше. Соответственно, должна обратиться в нуль и производная правой части (19) по S :

$$-h \frac{q + 1}{\mu} e^{(\mu-r)S} + h \frac{q(\mu-r)e^{(\mu-r)S} + \mu e^{(\mu-r)T-\mu S} - r e^{-rS}}{\mu(\mu-r)} + r P e^{-rS} = 0,$$

откуда находим еще одно уравнение, связывающее h и S :

$$h = \mu r P \left[e^{\mu S} + \frac{r - \mu e^{(\mu-r)(T-S)}}{\mu - r} \right]^{-1}. \quad (22)$$

Таким образом, стоимости машин определенной марки разных возрастов можно рассчитать по следующему алгоритму. Вначале определяется параметр q из (21), затем находятся S и h из (22) и (20). После этого величины $K(t)$ находятся по формулам (16) и (18). Исходными данными для этого алгоритма будут: стоимость машины в новом состоянии $K(0)$, устанавливаемая на основе цен первичного рынка, ее утилизационная стоимость U , рациональный срок службы T , предельный срок эксплуатации (хранения) L , затраты на ремонт машины P , а также технологический параметр машин данной марки μ , о котором будет говориться позднее.

Как говорилось в разделе 1, стоимость подержанной машины гораздо удобнее определять, умножая стоимость такой машины в новом состоянии $K(0)$ на соответствующий коэффициент годности $k(t) = K(t)/K(0)$, зависящий от возраста (или эффективного возраста) оцениваемой машины (t). Построенная модель позволяет находить эти коэффициенты. Введем вместо утилизационной стоимости и затрат на ремонт соответствующие относительные показатели $u = U/K(0)$ и $p = P/K(0)$. Как отмечалось ранее, по американским данным обычно $u = 5 \dots 15\%$. Сведений об относительных затратах на ремонт машин довольно мало. Например, по данным ремонтных предприятий, относительная стоимость капитального ремонта экскаваторов ЭО 2626 составляет от 8 до 20%, фронтальных погрузчиков ТО 18 и ТО 28 – от 16%, двигателей ЯМЗ – 15–20%⁵. Представляется, что для основных строительных машин относительные затраты на капитальный ремонт лежат в пределах от 15 до 40%.

⁵ Для сравнения: стоимость капитального ремонта скважин на воду доходит до 49% стоимости бурения новой скважины, а для нефтяных скважин она составляет 3–4%.

Теперь в формулах (16) и (18) достаточно положить $K(0) = 1$ и заменить U на u , а P на p . Тогда они примут вид:

1) при $t \geq S$:

$$k(t) = \frac{h}{\mu} \left[(q e^{\mu L} + 1) \frac{1 - e^{-r(T-t)}}{r} - (q + e^{-\mu S}) \frac{e^{\mu T - r(T-t)} - e^{\mu t}}{\mu - r} \right] + u;$$

2) при $t < S$:

$$k(t) = \frac{h}{\mu} (q e^{\mu L} + 1) \frac{1 - e^{-r(T-t)}}{r} - \frac{h}{\mu} (q + 1) \frac{e^{(\mu-r)S+rt} - e^{\mu t}}{\mu - r} - \\ - \frac{h}{\mu} (q + e^{-\mu S}) \frac{e^{(\mu-r)T} - e^{(\mu-r)S}}{\mu - r} e^{rt} - p e^{-r(S-t)} + u.$$

При этом уравнение (21) для определения q останется без изменения, а уравнения (20) и (22) примут вид:

$$h = \frac{\mu(1 - u + p e^{-rS})}{(q e^{\mu L} + 1) \frac{1 - e^{-rT}}{r} - (q + 1) \frac{e^{(\mu-r)S} - 1}{\mu - r} - (q + e^{-\mu S}) \frac{e^{(\mu-r)T} - e^{(\mu-r)S}}{\mu - r}}, \quad (23)$$

$$h = \mu r p \left[e^{\mu S} + \frac{r - \mu e^{(\mu-r)T-S}}{\mu - r} \right]^{-1}. \quad (24)$$

Обратим теперь внимание на то, что получаемые таким методом коэффициенты годности мы обозначили через $k(t)$, хотя в соответствующие формулы входит и параметр μ , который может быть неизвестен. Поэтому правильнее было бы обозначать эти коэффициенты через $k(t, \mu)$.

Приведем некоторые результаты экспериментальных расчетов по указанным формулам применительно к случаю, когда $u = 0,1$, $L = 2,5T$.

Зависимости $k(t, \mu)$ при $p = 0,2$, $T = 10$ для разных μ и r представлены на рис. 1–2. Как видно из рис. 1, с увеличением ставки дисконтирования коэффициенты годности уменьшаются. При отсутствии ремонтов этот вывод был обоснован в (Смоляк, 2008). Отсюда, кстати, следует, что с увеличением темпа групповой инфляции коэффициенты годности растут, а с повышением ставки налога на имущество – уменьшаются.

Влияние μ на коэффициенты годности имеют более сложный характер – с увеличением μ они в целом растут, но одновременно и не всегда монотонно меняется и длительность первого межремонтного цикла (рис. 2).

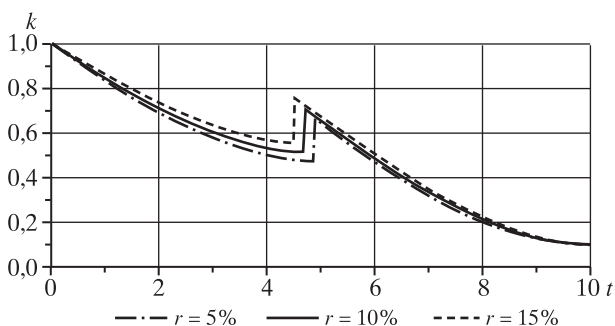


Рис. 1. Зависимость коэффициента годности от возраста машины при $T = 10$, $p = 0,2$, $\mu = 0,15$ для разных ставок дисконтирования r

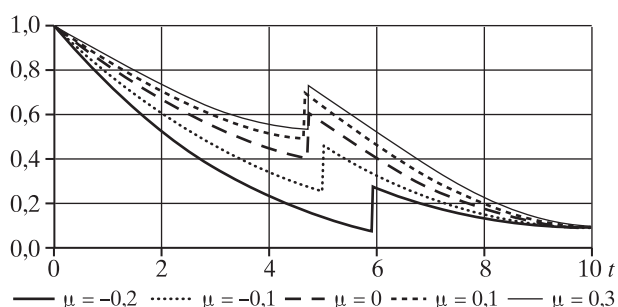


Рис. 2. Зависимость коэффициента годности от возраста машины при $T = 10$, $p = 0,2$, $r = 0,1$ для разных μ

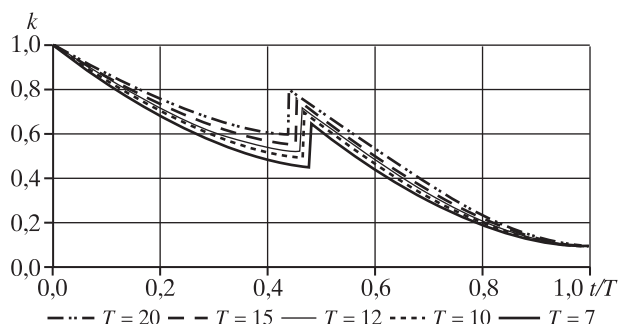


Рис. 3. Зависимость коэффициента годности от возраста машины при $r = 0,1$, $p = 0,2$, $\mu = 0,1$ для разных сроков службы T

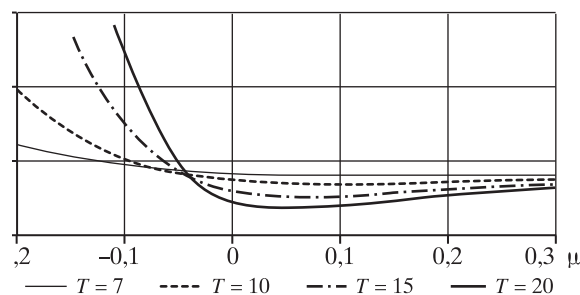


Рис. 4. Зависимость рациональной относительной длительности первого межремонтного цикла S/T от μ при $r = 0,1$, $p = 0,2$ для разных сроков службы T

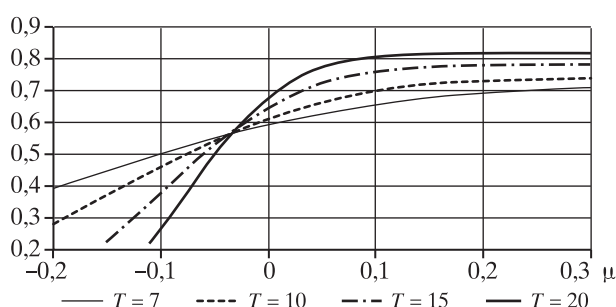


Рис. 5. Зависимость коэффициента восстановления от μ при $r = 0,1$ для разных сроков службы T

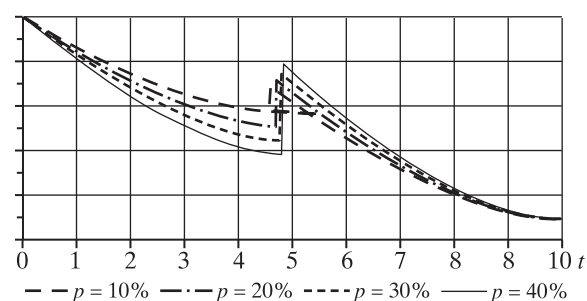


Рис. 6. Зависимость коэффициента годности от возраста машины при $r = 0,1$, $\mu = 0,15$, $T = 10$ для разной относительной стоимости ремонта

На рис. 3 сопоставляются коэффициенты годности для машин с разными сроками службы T . Здесь их оказалось удобнее представить в зависимости от относительного возраста t/T .

Важной характеристикой машины является рациональная длительность первого межремонтного цикла S . Ее также удобно охарактеризовать удельным показателем S/T – относительной длительностью первого межремонтного цикла. Зависимость S/T от T и μ представлена на рис. 4.

Другой важной характеристикой является величина $k(S, \mu)$ – отношение стоимости машин, прошедших капитальный ремонт, к стоимости таких же машин в новом состоянии. В (Оценка стоимости машин, 2003) эта величина названа *коэффициентом восстановления*. Довольно часто коэффициенты восстановления могут быть подтверждены рыночными данными, поскольку при выставлении на продажу только что отремонтированных машин многие продавцы отмечают это обстоятельство. Зависимости $k(S, \mu)$ при разных T представлены на рис. 5.

Влияние относительной стоимости ремонта на коэффициенты годности показано на рис. 6.

Результаты экспериментальных расчетов позволяют сделать ряд интересных выводов.

1. В соответствии с ранее действовавшими нормами планово-предупредительного ремонта второй межремонтный цикл должен быть короче первого примерно на 20%, так что $S/T \approx 1/1,8 \approx 0,56$. Между тем, как видно из рис. 4, такая ситуация возможна лишь при $\mu < 0^6$. Однако для большинства видов машин $\mu > 0$, а тогда относительная длительность первого межремонтного цикла оказывается, как правило, меньше 0,5. Другими словами, первый цикл оказывается короче второго, что не согласуется с нормами периодичности ремонтов и может вызывать

⁶ Как видно из рис. 4, при больших отрицательных μ относительная длительность первого межремонтного цикла S/T может оказаться достаточно большой (например, превысить 0,8). Представляется, что в таких случаях наиболее эффективный способ использования машины вообще не должен предусматривать капитального ремонта.

сомнения у технических специалистов-эксплуатационников. Между тем этому есть разумное объяснение: во втором цикле машина работает на износ.

2. В (Оценка стоимости машин, 2003) говорится, что коэффициент восстановления обычно составляет 0,65–0,8. На рис. 5 показано, что так бывает не всегда: при $\mu \leq 0$ этот коэффициент может быть и менее 0,5.

3. При некоторых сочетаниях исходных параметров, особенно при больших отрицательных значениях μ , оказывается, что рассчитываемое по модели значение $k(S, \mu)$ меньше u , а стоимость машин перед проведением ремонта – меньше утилизационной. В таких случаях наиболее эффективное использование машин предусматривает не один, а большее число капитальных ремонтов. На графиках такие сочетания были исключены.

4. С увеличением стоимости ремонта коэффициенты годности для первого межремонтного цикла уменьшаются, для второго – увеличиваются.

В заключение остановимся на методе установления входящего в расчетные формулы параметра μ , который мы рассматриваем как технологическую характеристику машин соответствующей марки (а возможно, и вида). Теоретически для определения μ достаточно знать стоимость машины в новом состоянии и стоимость какой-то подержанной машины, эффективный возраст которой известен, либо стоимость только что отремонтированной машины. Однако исходной информацией для этого могут быть только рыночные цены машин, которые могут колебаться вокруг стоимостей, так что исходная информация должна включать данные о ценах многих машин разного возраста. При этом предположение о стабильности коэффициентов годности во времени, положенное в основу модели, позволяет использовать информацию о ценах сделок, совершенных не на дату оценки, а в другом, более раннем периоде, например в предыдущем полугодии. Предположим поэтому, что у нас есть информация о ряде машин данной марки, проданных в одном и том же периоде. При этом о каждой машине j известны цена приобретения⁷ K_j и эффективный возраст t_j . В таком случае рыночную стоимость машин в новом состоянии в этом периоде (K^0) и параметр μ естественно определять так, чтобы “фактические” коэффициенты годности $k_{\phi j} = K_j/K^0$ возможно меньше отклонялись от “теоретических” $k(t_j, \mu)$. Для этого достаточно, например, минимизировать средний квадрат соответствующих отклонений $[k_{\phi j} - k(t_j, \mu)]$. Такая процедура была предложена в (Смоляк, 2008) и реализована применительно к грейдерам.

Однако в данном случае появляется возможность использовать и дополнительную информацию – сведения о рыночных стоимостях машин сразу после проведения им капитального ремонта. Здесь роль “фактических” коэффициентов годности играют отношения указанных стоимостей к K^0 , а роль “теоретических” коэффициентов годности – величины $k(S, \mu)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Международные стандарты оценки** (2007): Международные стандарты оценки. Восьмое издание. 2007. МСО 2007 / Пер. с англ. Артеменков И.Л., Микерин Г.И., Павлов Н.В. и др. (2009). М.: Российское общество оценщиков.
- Основы оценки** (2006): Основы оценки стоимости машин и оборудования / Ковалев А.П., Королев И.В., Фаддеев П.В. М.: Финансы и статистика.
- Оценка стоимости машин** (2003): Оценка стоимости машин, оборудования и транспортных средств / Под ред. Ковалева А.П., Кушеля А.А., Хомякова В.С. и др. М.: Интереклама.
- Смоляк С.А.** (2008): *Проблемы и парадоксы оценки машин и оборудования: сюита для оценщиков машин и оборудования*. М.: РИО МАОК.
- Смоляк С.А.** (2009): Эргодические модели износа машин и оборудования // *Экономика и мат. методы*. Т. 45. № 4. С. 42–60.
- Смоляк С.А.** (2011а): О способах использования имущества // *Имущественные отношения в Российской Федерации*. № 7. С. 66–81.

⁷ В эту цену, строго говоря, надо включать затраты на доставку машины к покупателю и (при необходимости) монтаж. Однако обычно считают, что коэффициенты годности не зависят от того, включены ли такие затраты в стоимость машины или нет. На этом основании в излагаемом алгоритме указанные затраты не учитываются.

- Смоляк С.А.** (2011б): О способах использования имущества // *Имущественные отношения в Российской Федерации*. № 8. С. 24–37.
- California State Board of Equalization** (2010): California State Board of Equalization. [Электронный ресурс] Assessors' Handbook Section 581. Equipment and Fixtures Index, Percent Good and Valuation Factors. Режим доступа: <http://www.boe.ca.gov/proptaxes/pdf/ah58110.pdf>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: февраль 2012 г.).
- Marshall Valuation Service** (2011): Marshall Valuation Service. Los Angeles: Marshall and Swift Publication Company.
- Oklahoma Tax Commission** (2010): Oklahoma Business Personal Property Valuation Schedules. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.tax.ok.gov/advform/BPP-2011-01_01_2011_final.pdf, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: апрель 2012 г.).

Поступила в редакцию
19.01.2012 г.

Valuation of Equipment Undergoing an Overhaul

S.A. Smolyak

The dependence of the value of equipment on age is determined using a modified Discounted Cash Flows method. This assumes the most efficient use of evaluated equipment after valuation date (Highest And Best Use principle). The model uses available market and technical information and allows to evaluate used equipment taking into account the improvement of its characteristics after a major overhaul as well as the impact of taxation and inflation.

Keywords: plant & equipment, highest and best use, overhaul, effective age, market value, percent good factors, benefits, discounting