in the world. The market structure is monopoly-monopsony. SIBUR comes from the buyer of petroleum gas, one of the oil-producing companies from the seller's side. In the course of its historical development, conflicts often arose in the market, which were based on the pricing of petroleum gas. Market participants could not agree on a fair price for gas. This circumstance prompted the regulator to reform the NPG market using a scientific approach. In 2009, the NPG market was liberalized, but the state does not monitor prices in this market. Calculations made in 2016 showed that in some cases, an EOC for oil associated gas is negative. When applying negative OOCs, a conflict of interest is inevitable, which can lead to serious market disruptions and jeopardize the work of the petrochemical industry in Russia. The article attempts to analyze the acceptability of the use of negative GOCs and to develop measures aimed at increasing the acceptability of the sellers of negative GCBs of the products they sell.
Keywords: petroleum associated gas, socially optimal price, acceptability.
JEL: A11.

References

Lobanova E.O. (2016) Determination of socially optimal prices in the APG markets. Master's Thesis. Moscow, MSE Lomonosov MSU (in Russian).

Ozhegov S.I. (1988). Russian dictionary. Ed. by N.Yu. Shvedovoj. 20th izd. Moscow, Russkij yazyk, 750 p. (in Russian).

Chernavskij S. Ya. (2011). Oil associated gas market in Russia. Development mesoeconomy. Ed. by G.B. Klejnera. Moscow, Nauka, pp. 108–137 (in Russian).

Chernavskij S.Ya. (2013). Reforms of regulated sectors of the Russian energy industry. Moscow, Saint Petersburg, Nestor-Istoriya, 328 p. (in Russian).

Chernavskij S.Ya., Ehjsmont O.A. (2005). Economic analysis of the oil associated gas market in Russia. *Ekonomika i matematicheskie metody*, vol. 41, no. 4, pp. 30–38 (in Russian).

Ehjsmont O.A. (2010). Provision of natural resources, environmental damage and economic development. Moscow, ISA RAN, 281 p. (in Russian).

Manuscript Received 17.02.2019

ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВА И ПЕРИОДИЧНОСТИ РЕМОНТОВ

С.А. Смоляк

DOI: 10.33293/1609-1442-2019-2(85)-84-103

При управлении производственным процессом на предприятии важно выработать правильную политику проведения капитальных ремонтов машин и оборудования. Обычно в этих целях используются рекомендуемые в литературе нормативы периодичности ремонтов. В публикациях по теории надежности эта задача рассматривается как оптимизационная, а в качестве критерия оптимизации принимаются удельные показатели, например коэффициенты готовности или средние затраты на эксплуатацию и ремонт машин в единицу времени. Однако подобные критерии не в полной мере отражают экономические интересы предприятий – владельцев машин, которые в условиях рыночной экономики ориентируются на максимизацию рыночной стоимости. В данной работе предлагается формировать ремонтную политику, при которой рыночная стоимость предприятия, а значит, и всех его активов будет наибольшей. Соответствующая экономико-математическая модель базируется на принципах ожидания выгод и наиболее эффективного использования, лежащих в основе теории стоимостной оценки. Эта модель учитывает физическое изнашивание машин в процессе их эксплуатации, а также возможность случайных ресурсных отказов, приводящих к необходимости прекратить использование машины. При этом влияние капитального ремонта на улучшение технического состояния машин описывается с помощью предложенной Кидзимой модели несовершенного ремонта. Проведенные по нашей модели расчеты позволяют выяснить, как зависят оптимальные число и сроки проведения ремонтов от таких факторов, как стоимость ремонта и его восстанавливающая способность, темпы физического изнашивания машин, а также

© Смоляк С.А., 2019 г.

Смоляк Сергей Абрамович, д.э.н., главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН, Москва, Россия, smolyak1@yandex.ru

интенсивность их ресурсных отказов. Мы показываем, как с помощью этой модели учитывать влияние темпов инфляции на ремонтную политику, а также ставок налогов на прибыль и имущество.

Ключевые слова: машины, оборудование, изнашивание, рыночная стоимость, стоимостная оценка, доходный подход, принцип ожидания выгод, наиболее эффективное использование, капитальный ремонт, межремонтный цикл, модель Кидзимы, ресурсный отказ.

JEL: C61, D46, D81, L23.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Развивая идеи работ (Смоляк, 2008, 2009, 2016), мы исследуем влияние физического изнашивания машин и оборудования (далее – машин) на число и сроки их капитальных ремонтов. Машина – типичный представитель *массового* имущества, серийно производимого и обращающегося на рынке. Имеется огромное число типов, видов, марок (моделей, модификаций) машин. На самом деле рынков, где обращаются машины, два: первичный и вторичный. На *первичном рынке* продаются машины в новом состоянии (произведенные, но еще не введенные в эксплуатацию). Продавцами здесь являются производители машин и их дилеры. Все машины одной марки в новом состоянии являются идентичными, точными копиями друг друга. На *вторичном рынке* обращаются *подержанные* машины. В процессе использования техническое состояние машин изменяется. Поэтому в зависимости от истории использования техническое состояние подержанных машин может существенно различаться.

Мы будем рассматривать машины как один из видов активов, составляющих имущество владельца. Как и любые другие активы, они являются объектами стоимостной оценки и, в частности, обладают *рыночной стоимостью* (далее – стоимостью). В общем случае стоимость актива отражает его полезность для владельца и способность актива приносить выгоды своему владельцу. Согласно стандартам оценки (МСО, 2017; ЕСО 2016; RICS Valuation – Global Standards 2017) под рыночной стоимостью актива *на дату оценки* понимается расчетная денежная сумма, которая может быть уплачена за этот актив в сделке, совершаемой на эту дату при определенных *стандартных условиях*. Полный перечень таких условий с необходимыми комментариями дается в стандартах оценки (в разных стандартах соответствующие перечни различаются), но мы здесь его не приводим. Отметим лишь, что к числу стандартных условий сделки относятся: независимость сторон (и, в частности, невынужденный характер сделки), их хорошая осведомленность о предмете сделки и рынке (предполагает проведение сторонами должного маркетинга) и расчетливое поведение сторон. Обычно рыночные стоимости активов оцениваются профессиональными оценщиками.

Машины одной марки в новом состоянии продаются (на первичном рынке) разными продавцами, при этом цены продаж отличаются не слишком сильно. Поэтому стоимость таких машин обычно определяют как среднюю из цен их продажи. К сожалению, такой способ не годится для оценки подержанных машин, поскольку их техническое состояние может существенно различаться (практически невозможно найти двух одинаково подержанных машин).

Рыночная стоимость машины в новом состоянии больше, чем у подержанной. Разность между этими стоимостями оценщики называют *обесценением*, или *износом* (depreciation), а их отношение – *коэффициентом*, или *процентом годности* (Percent good factor).

Обычно для определения стоимости подержанной машины оценщики умножают стоимость машины той же марки в новом состоянии на коэффициент годности (или, что то же, уменьшают ее на процент физического износа), рассчитываемый по различным формулам (или таблицам) на основе возраста машины и (среднего, ожидаемого или эко-

номического) срока ее службы. В США подобные таблицы сроков службы и процентов годности периодически публикуются (см., например, (Assessors' Handbook Section 581, 2017; Personal Property Depreciation Schedules and Trend Tables 2018; 2018 Personal Property Manual, 2018)). В России их приводят в учебниках и методических материалах для оценщиков (например, в (Андрианов, 2006; Справочник оценщика, 2015; Федотова, 2018)).

Однако данные о средних и фактических экономических сроках службы одних и тех же машин, приводимые в разных источниках, порой сильно различаются. Некоторые такие таблицы и формулы критически рассмотрены в (Смоляк, 2008, 2016). Здесь же следует отметить, что использование готовых таблиц или формул предполагает, что коэффициенты годности стабильны (слабо зависят от даты оценки). К тому же, связывая стоимость машины с ее возрастом, оценщики вынуждены приравнивать стоимости машин одного возраста с разной историей эксплуатации, что снижает точность оценки.

Далее будем принимать, что машины при их использовании по назначению производят определенную *работу* (услугу), необходимую участникам рынка. Временно, вплоть до раздела 4, мы опираемся на три важных допущения о машинах и условиях их использования:

- производимые машинами работы обращаются на рынке и, следовательно, каждая единица такой работы имеет определенную рыночную стоимость (рыночные стоимости работ определяются так же, как и рыночные стоимости машин и других активов);
- все машины одной марки выполняют работы в одних и тех же условиях;
- налоги на прибыль и имущество отсутствуют.

Выполнение работ с помощью машины требует определенных – *операционных* – затрат. В их состав включаются затраты на потребляемые в процессе работы трудовые, материальные и топливно-энергетические ресурсы, но не включаются амортизационные отчисления и уплачиваемый владельцем налог на прибыль.

Использование машины приносит ее владельцу определенные *выгоды*. Под выгодами от использования машины в некотором периоде времени мы понимаем рыночную стоимость выполненных машиной работ за вычетом операционных затрат.

Показатель выгод при этом близок по содержанию и величине к EBITDA (прибыли до уплаты налога и исключения амортизационных отчислений). В литературе об оценке вместо *выгод* пишут о чистом операционном доходе (ЧОД). Мы не используем этот термин, поскольку его обычно применяют в отношении объектов, результаты использования которых (продукция, работы или услуги) *непосредственно продаются*. И тогда ЧОД определяется как цена этих результатов (выручка от продаж, отражаемая в финансовой отчетности) за вычетом соответствующих операционных затрат.

В нашем же случае результаты использования машины (работы), хотя и *могут* продаваться на рынке и имеют рыночную стоимость, но фактически обычно не продаются, а потребляются их владельцем на следующих этапах производственного процесса. Поэтому величину выгод мы определяем, исходя не из цены, а из рыночной стоимости этих результатов, которая прямо не отражается в финансовой отчетности владельца. И тогда, в отличие от ЧОД, показатель выгод от использования машины в некотором периоде приобретает виртуальный, т.е. расчетный, характер. Вместе с тем он имеет простой экономический смысл и отражает прирост стоимости владеющего машиной предприятия за счет использования машины в этом периоде (Смоляк, 2016).

Физическое изнашивание машины приводит к ухудшению ее эксплуатационных характеристик (performance deterioration). Техническое состояние (далее – состояние) машины при этом ухудшается. Ремонт замедляет этот процесс. Однако машины, находящиеся в плохом состоянии, обычно выводятся из эксплуатации (утилизируются).

Мы будем считать, что утилизировать машину можно в любой момент времени. Выгоды от такой утилизации (стоимость отдельных элементов машины за вычетом затрат, необходимых для демонтажа машины и реализации ее отдельных элементов) называются *утилизационной стоимостью* машины. Это, по сути, – тоже рыночная стоимость машины, рассматриваемой как совокупность ее отдельных элементов. Обычно утилизационная стоимость машин невелика, а порой даже и отрицательная.

В ходе эксплуатации машины обычно проходят техническое обслуживание и текущие ремонты, что позволяет поддерживать состояние машин, не допуская его существенного ухудшения. Мы будем считать, что затраты на эти операции включены в состав операционных затрат. А капитальные ремонты, требующие относительно больших затрат и существенно улучшающие состояние машин, мы будем учитывать отдельно. При этом определение «*капитальный*» часто будет опускаться, поскольку других видов ремонта мы здесь не рассматриваем.

Периоды времени от начала использования машины до первого ремонта, от одного ремонта до следующего и от последнего ремонта до утилизации называются *межремонтными циклами*. На протяжении каждого такого цикла машина используется по назначению. Можно считать, что в этот период ее технико-экономические характеристики являются *гладкими функциями времени*. Это позволяет рассматривать процесс использования машины непрерывно и характеризовать ее *интенсивностью приносимых выгод* – выгодами от использования машины по назначению в малую единицу времени. Разумеется, такая интенсивность зависит от состояния машины в соответствующий момент времени.

Разумеется, машину ремонтируют, если с ней произошла авария, но чаще делают это превентивно, учитывая ее реальное состояние. Однако четких правил, однозначно определяющих, когда именно машину надо ремонтировать, а когда – нет. Совокупность правил, позволяющих в каждый момент времени решить, надо ли ремонтировать машину или можно продолжить ее эксплуатацию, можно назвать *ремонтной политикой*. Владелец машины может выбирать ее сам. Однако выбор ремонтной политики существенно влияет на срок службы машины.

Вопрос о выборе ремонтной политики рассматривается в литературе с разных позиций. Нередко в этих целях используются *технические* нормативы – по разным типам машин они приведены, например, в (Ящура, 2006). Правда, такие нормативы установлены не для любых машин, а там, где они есть, имеют рекомендательный характер, так что время проведения ремонтов владелец может выбирать в довольно широких пределах. Нормативы периодичности ремонтов могут устанавливать и государство, и производители машин, но общепризнанных правил установления таких нормативов нет.

Оптимизации периодичности ремонтов посвящено много работ по *теории надежности* (см. например, (Bartholomew-Biggs et al., Zuo, 2006; Wang, Pham, 2006; Shey-Huei et al., 2012; Krivtsov, Yevkin, 2014). Здесь учитывается, что интенсивность отказов машины в процессе эксплуатации растет, но уменьшается после ремонта, хотя сокращается время использования машины по назначению. При этом в качестве критерия оптимизации принимаются удельные показатели: коэффициент готовности или средние затраты на эксплуатацию и ремонт машины в единицу времени. К сожалению, подобные критерии не в полной мере отражают *экономические интересы* владельцев машин.

В условиях рыночной экономики большинство компаний, принимая управленческие решения, ориентируются на максимизацию своей рыночной стоимости (капитализации). Вклад конкретной машины в рыночную стоимость владеющей ею компании выражается рыночной стоимостью самой этой машины. В этом случае решения об управлении использованием машины (включая и решения о ее ремонте) должны ориентироваться на

максимизацию стоимости самой этой машины. А тогда критерием оптимизации ремонтной политики должна выступать стоимость машины.

Ремонт влияет на стоимость машины и динамику ее обесценения. Количественным характеристикам такого влияния посвящено немного публикаций. Имеющиеся предложения по этому поводу (Михайлец, 2007; Степанов, 2007; Справочник оценщика, 2015; Федотова, 2018) представляются недостаточно обоснованными. В наших работах (Смоляк, 2014, 2016) задача оптимизации ремонтной политики решается в увязке с теорией стоимостной оценки имущества. Изложим основные идеи нашего подхода.

Принимается, что машины могут направляться в ремонт в любой момент. Сам ремонт представляет собой некоторую работу, нужную участникам рынка и потому имеющую (рыночную) стоимость. Поскольку в процессе ремонта машина не выполняет никаких работ, то выгоды за время этого ремонта будут равны стоимости ремонта со знаком «минус».

Отметим, что в системе бухгалтерского учета затраты на капитальный ремонт обычно распределяются равномерно на соответствующий межремонтный цикл, после чего включаются в состав операционных затрат. Мы же рассматриваем их как единовременные и учитываем отдельно.

Как отмечалось выше, стоимость актива оценивается в предположении расчетливого поведения продавца и покупателя. При этом расчетливое поведение покупателя подразумевает, что он намеревается использовать актив рационально (Смоляк, 2016; RICS Valuation – Global Standards 2017; МСО, 2017), т.е. таким способом, который обеспечивает ему наибольший эффект.

Что касается технологической стороны способа использования машины, здесь особых проблем не возникает: обычно машину используют по назначению в рациональных режимах. Однако на практике решения о ремонте или утилизации машины не всегда бывают экономически обоснованными, поэтому фактическая длительность межремонтных циклов и сроки службы машин, работающих в одинаковых условиях, порой существенно различаются. Представляется, что при оценке стоимости машины необходимо исходить из того, что после даты оценки моменты проведения ей капитальных ремонтов и срок ее службы будут рациональными (учитывая при этом, что моменты ранее проведенных ремонтов могли быть выбраны нерационально).

Выше мы использовали термин «*рациональный*» (*наиболее эффективный*) в отношении способа использования машины и ремонтной политики. Но как именно следует понимать этот термин? Чтобы ответить на этот вопрос, воспользуемся одним из основных принципов стоимостной оценки – *принципом ожидания выгод*. Его можно сформулировать так: стоимость актива является единым выражением будущих потоков выгод, которые актив будет создавать на протяжении срока его полезного использования, приведенных к дате оценки (с применением коэффициентов дисконтирования, учитывающих факторы времени и риска). Однако потоки выгод от использования актива зависят от того, каким способом актив используется. Поскольку при определении рыночной стоимости актива предполагается расчетливое поведение участников сделки, то величина этой стоимости должна отвечать тому – наиболее эффективному – способу использования актива, при котором сумма будущих приведенных выгод, приносимых активом, будет наибольшей. Грубо говоря, это означает, что наиболее эффективный способ использования актива должен максимизировать его стоимость. Однако выбор такого способа предусматривает оптимизацию *всех* характеристик процесса использования актива. Разумеется, практически сделать это невозможно, удается оптимизировать лишь отдельные такие характеристики. Такие, частично оптимизированные способы использования активов мы называем *рациональными*. К задачам выбора рационального способа использования машин

относится и задача оптимизация ремонтной политики. Принцип ожидания выгод лежит в основе доходного подхода к оценке активов. Однако в сформулированном выше виде он применяется редко. Это связано с трудностями достаточно обоснованного прогнозирования потоков приносимых активами выгод на длительный период. Обычно этот принцип применяется при оценке недвижимости и бизнеса в иной форме (ECO 2016; MCO 2017): *рыночная стоимость актива равна сумме приведенных выгод от наиболее эффективного использования актива в некотором (прогнозном) периоде, включая и выгоды от продажи актива в конце периода по рыночной стоимости*.

При этом, разумеется, наиболее эффективным будет такой способ использования актива, при котором указанная сумма будет наибольшей. Это позволяет тот же принцип сформулировать в виде, более удобном для математического моделирования (Смоляк, 2016): *рыночная стоимость актива на дату оценки не превышает суммы приведеннных выгод от использования актива в прогнозном периоде (включая рыночную стоимость актива в конце периода) и совпадает с этой суммой, если актив используется рациональным способом*.

Применим принцип ожидания выгод к работоспособной машине в тот момент, когда она направляется на ремонт, и к периоду проведения ремонта. Учтем при этом, что в процессе ремонта машина требует только затрат и не производит никаких работ. Поэтому приносимые машиной в период ремонта выгоды равны затратам на ремонт, взятым со знаком «минус». Мы получим, что стоимость машины перед ремонтом не превосходит суммы приведенных (к началу ремонта) затрат на ремонт и приведенной стоимости машины после ремонта, а совпадает с этой суммой, если момент ремонта выбран наиболее эффективно. Отсюда следует, что при рационально выбранном моменте ремонта и его малой продолжительности *прирост стоимости машины после ремонта равен стоимости ремонта* (Смоляк, 2008).

В каждом межремонтном цикле наблюдается ухудшение эксплуатационных характеристик машины (performance deterioration), ее состояния. Соответственно снижается и ее стоимость. Поэтому математическая модель стоимостной оценки машины должна предусматривать определенное описание состояний машины и процесса изменения состояний машины в ходе ее использования. Обычно состояние машины оценщики характеризуют несколькими различными способами, например:

- сведениями о техническом состоянии отдельных элементов (узлов, деталей) машины;
- градациями порядковой шкалы (типа «отличное», «хорошее» и т.п.);
- календарным (хронологическим) возрастом;
- наработкой.

Первый способ по многим причинам неудобный. Например, даже в ситуации, когда каждый элемент может находиться только в двух состояниях (рабочее и нерабочее), а таких элементов в машинах обычно несколько десятков, число возможных состояний машины окажется огромным. Для каждого такого состояния необходимо установить рациональный способ использования машины, приносимые ею выгоды и ее стоимость. Кроме того, не очевидно, что характеристику сложной системы, каковой является машина, можно дать на основе характеристик ее отдельных элементов. Наконец, даже зная точно техническое состояние каждого элемента машины, мы не можем рассчитать, как оно будет изменяться в процессе использования машины (даже при заданном способе ее использования).

Второй способ неявно предполагает, что в процессе использования машина постепенно переходит из одной градации в следующую, отвечающую ее худшему состоянию. Однако после ремонта состояние машины улучшается и оказывается, что такую машину нельзя отнести ни к какой градации порядковой шкалы. Пусть, например, рациональное использование машины предполагает, что она проходит

только один капитальный ремонт в возрасте пяти лет, после чего служит еще четыре года до утилизации. Поскольку после ремонта состояние машины улучшается, ее стоимость повышается. Допустим, что она оказывается такой же, как у машин той же марки в возрасте трех лет. Однако состояние машины при этом будет иным, поскольку далее ее надо будет использовать совершенно иначе. Ведь машину, прошедшую ремонт, необходимо дальше использовать по назначению четыре года без ремонта, тогда как трехлетнюю машину надо ремонтировать через два года и только после этого использовать еще четыре года. Иными словами, машину после первого ремонта невозможно сравнить по своему состоянию с машинами, не проходившими ремонта.

Состояние машины оценщики нередко характеризуют ее (календарным) *возрастом*. Это удобно, и сведения о возрасте машин обычно являются достоверными. Как отмечалось ранее, имеются таблицы (или формулы), связывающие проценты годности с возрастом машин разных видов. Такие таблицы (формулы) существенно облегчает оценку подержанных машин, поскольку их стоимость можно найти, умножая стоимость машины той же марки в новом состоянии на коэффициент годности, определяемый обычно как функция возраста. Однако такой метод не обеспечивает достаточного обоснования стоимостных оценок. Дело в том, что машины одного возраста могут до даты оценки проходить разное число ремонтов и в разное время, так что их состояние будет различаться. Например, состояние машин в возрасте пяти лет перед ремонтом и после только что проведенного ремонта будет совершенно разным. По той же причине неудобно измерять состояние машин их *наработкой* (тем более что продавцы нередко умышленно или неумышленно искажают сведения о наработке продаваемой машины). Скорее всего, адекватно описать состояние машины каким-то одним измерителем нельзя в принципе. Однако это можно сделать, введя дополнительный измеритель состояния машины.

Такой подход использован в работе (Kijima, 1989), где предложены две модели влияния ремонтов на изменения надежности объектов. В этих моделях интенсивность отказов объекта определялась его «виртуальным возрастом», который изменяется синхронно с календарным возрастом, но скачком снижается после ремонта. Отметим, что впоследствии модели Кидзимы многие авторы анализировали и широко использовали в теории надежности, в том числе и для оптимизации политики превентивных ремонтов.

В модели I Кидзимы, которая представляется нам более подходящей, было принято, что уменьшение виртуального возраста объекта после ремонта пропорционально длительности закончившегося межремонтного цикла. Коэффициент пропорциональности, мы обозначаем его $(1 - q)$, отражает уровень *восстанавливающей способности ремонта* (repair effectiveness factor). Ремонту, восстанавливающему машину до нового состояния, отвечает $q = 0$. В литературе о надежности такой ремонт называют *совершенным* (perfect). Соответственно, $q > 0$ отвечает *несовершенному* (imperfect), или *общему* (general), ремонту. Значение $q = 1$ отвечает ремонту, переводящему машину в то же состояние, какое у нее было до ремонта (перед отказом), – в литературе такой ремонт называют *минимальным*. Легко показать, что у объекта, отремонтированного в возрасте t, виртуальный возраст становится равным qt.

В данной статье мы используем идею Кидзимы несколько иначе, не используя показатель виртуального возраста и отражая влияние ремонта не на надежность машины, а на интенсивность приносимых ею выгод.

Далее мы будем рассматривать только машины одной марки, так что термин «*машина*», если иное не указано, относится только к машинам этой марки. Состояние каждой машины мы описываем не виртуальным возрастом, а двумя более наглядными и доступными для оценщиков характеристиками – (календарным) временем работы машины до последнего перед датой оценки капитально-

го ремонта (z) и (календарным) временем ее работы в текущем межремонтном цикле, т.е. после последнего капитального ремонта (s). Подразумевается, что на рынке обращаются (реальные или виртуальные) машины в разных состояниях (z, s). Стоимость машины и интенсивность приносимых ею выгод мы рассматриваем как функции от ее состояния – соответственно $V(z, s)$ и $B(z, s)$. Экономико-математические модели для построения соответствующих зависимостей, основанные на принципе ожидания выгод и идее Кидзимы, мы рассмотрим ниже.

2. ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ МОДЕЛИ

При построении модели мы сделаем ряд упрощающих предположений.

1. Утилизационную стоимость машин будем считать нулевой. Это оправдано, поскольку обычно утилизационная стоимость машины невелика.

2. Затраты на капитальный ремонт машины будем считать не зависящими от того состояния, в котором она находилась перед направлением в ремонт, и обозначим их через R. Отношение стоимости ремонта машины к стоимости такой же машины в новом состоянии называют относительной стоимостью ремонта. Мы будем обозначать ее через ρ (для многих видов машин, по имеющимся данным, $\rho = 15\ldots40\%$). Продолжительность капитального ремонта машины обычно невелика, а процесс ремонта мы будем считать мгновенным.

3. Принятое описание состояний машины позволяет предложить сравнительно простую модель изменения интенсивности выгод, приносимых машиной в различных межремонтных циклах, т.е. функции $B(z, s)$. Рассмотрим вначале машину, используемую по назначению, но не проходящую ремонтов. Ее виртуальный возраст при этом будет совпадать с календарным. Интенсивность приносимых ею выгод будет при этом функцией (очевидно, убывающей) только возраста машины, обозначим ее через $f(s)$.

Пусть теперь этой машине в возрасте z проводится ремонт. Согласно модели Кидзимы после ремонта виртуальный возраст машины становится равным qz, чему отвечает интенсивность приносимых машиной выгод $f(qz)$. Далее виртуальный возраст меняется синхронно с календарным, так что через время s, когда машина оказывается в состоянии (z, s), интенсивность приносимых машиной выгод будет составлять $f(qz + s)$.

Допустим теперь, что в возрасте z' (т.е. через время $z' - z$) этой машине провели второй ремонт. Тогда ее виртуальный возраст уменьшился на $(1 - q)(z' - z)$, т.е. составил $qz + (z' - z) - (1 - q)(z' - z) = qz'$. Соответственно, когда эта машина отработает время s' и окажется в состоянии (z', s'), интенсивность приносимых ей выгод $B(z', s')$ будет составлять $f(qz' + s')$. Нетрудно убедиться, что такой же вид имеет функция $B(z, s)$ в любом межремонтном цикле:

$$B(z, s) = f(qz + s). \tag{1}$$

4. Специальных наблюдений за машинами одной марки разного возраста обычно не ведется, и надежных данных об изменении технико-экономических характеристик машин с возрастом нет. Однако в течение межремонтного цикла они ухудшаются. Поскольку длительности циклов невелики, для упрощения можно принять, что интенсивность выгод, приносимых машиной в *первом* цикле, с увеличением возраста снижается в постоянном темпе – обозначим его через α. В таком случае $B(0, s) = f(s) = Ae^{-\alpha s}$, где A – интенсивность выгод, приносимых машиной в начале эксплуатации. Отсюда и из (1) вытекает, что

$$B(z, s) = Ae^{-\alpha(qz+s)}. \tag{2}$$

В таком случае интенсивность приносимых машиной выгод в любом межремонтном цикле будет экспоненциально убывать в темпе α, т.е. будет положительной. Поэтому

машины, находящиеся в любом состоянии, будут иметь положительную стоимость. Казалось бы, это нереалистично, поскольку тогда машины могли бы использоваться неограниченно долго, принося положительные выгоды. Однако на практике многие машины при правильном использовании служат намного дольше, чем это предусматривают нормы амортизации или технические нормы. Кроме того, ограничить «предельный» срок службы машин в модели, конечно, можно, но никаких методов для определения такого срока пока еще не предложено.

3. ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

Как отмечалось ранее, мы описываем состояние машины парой (z, s), где z – время работы машины до последнего перед датой оценки капитального ремонта; s – время ее работы в текущем межремонтном цикле. Это означает, что стоимость машины и интенсивность приносимых ею выгод мы рассматриваем как функции от (z, s) – соответственно $V(z, s)$ и $B(z, s)$.

Рассмотрим на дату оценки машину, находящуюся в состоянии (z, s). Имеется всего три способа ее использования: утилизировать, использовать ее по назначению[1] в течение *бесконечно малого* периода времени dt или направить в капитальный ремонт. Выясним, какие выгоды они дают.

Первый случай *невозможен*, поскольку утилизация машины, дающая нулевые выгоды, менее эффективна, чем использование ее по назначению, приносящая положительные выгоды.

Во втором случае машина принесет за период выгоды $B(z, s)dt$, а через время dt окажется в состоянии $(z, s + dt)$, где ее стоимость будет $V(z, s + dt)$, поскольку инфляция отсутствует. Эта стоимость приводится к дате оценки с помощью коэффициента дисконтирования, который в данном случае можно принять равным $(1 - rdt)$, где r – ставка дисконтирования в непрерывном времени.

В третьем случае ремонт потребует затрат R, и по его завершении начнется новый межремонтный цикл. Поскольку в момент ремонта машина имела возраст $z + s$, то после ремонта она окажется в состоянии $(z + s, 0)$ и будет иметь стоимость $V(z + s, 0)$. А тогда стоимость машины перед ремонтом должна быть не больше $V(z + s, 0) - R$, причем равенство возможно, только если ремонт эффективнее использования по назначению.

Применим теперь принцип ожидания выгод (в сформулированном выше виде) к нашей машине и периоду времени dt:

$$V(z,s) = \max\{B(z,s)dt + \\ +(1-rdt)V(z,s+dt);\ V(z+s,0)-R\}.$$

Отсюда, учитывая формулу (2), с точностью до малых более высокого порядка получаем

$$V(z,s) = \max\{V(z,s) + B(z,s)dt + \\ +\left[V'(z,s) - rV(z,s)\right]dt;\ V(z+s,0)-R\} = \\ = \max\{V(z,s) + \left[Ae^{-\alpha(qz+s)} + V'(z,s) - \\ -rV(z,s)\right]dt;\ V(z+s,0)-R\}, \qquad (3)$$

где штрихом обозначена производная по s.

Обратим внимание, что при традиционном применении доходного подхода стоимость машины определяется выгодами от *последующего использования именно этой* машины. Между тем уравнение (3) связывает стоимость машины, находящейся в определенном состоянии на дату оценки, со стоимостями *других машин* той же марки, находящихся на ту же дату в других состояниях. Это позволяет отнести его к классу уравнений динамического программирования.

Решение (3) имеет сравнительно простую структуру: для каждого z существует

[1] Обратим внимание, что в соответствии со сделанным ранее допущением использовать машину по назначению можно только единственным способом.

такое конечное или бесконечное $T = T(z)$, что при $s < T$ машина должна использоваться по назначению, а при $s = T$ – ремонтироваться. Тем самым $T = T(z)$ будет длительностью межремонтного цикла у машин, которые в возрасте z на дату оценки прошли ремонт (при $z = 0$ – введены в эксплуатацию).

Если $T = \infty$, то при всех s должно выполняться равенство

$$V'(z, s) - rV(z, s) + Ae^{-\alpha(qz+s)} = 0. \quad (4)$$

Единственным убывающим по s решением этого уравнения будет

$$V(z, s) = \frac{Ae^{-\alpha(qz+s)}}{r+\alpha}. \quad (5)$$

При конечном T ситуация будет немного иной. Здесь равенство (4) будет справедливо только при $s \le T$, а при $s = T$ будет выполняться условие $V(z, T) = V(z + T, 0) - R$. Легко проверить, что тогда при $s < T$ будет

$$V(z, s) = \frac{Ae^{-\alpha(qz+s)}}{r+\alpha} + e^{-r(T-s)} \times$$
$$\times\left[V(z+T, 0) - R - \frac{Ae^{-\alpha(qz+T)}}{r+\alpha}\right]. \quad (6)$$

Заметим теперь, что ремонтировать рассматриваемую машину через время T после начала цикла целесообразно, если это будет выгоднее, чем не ремонтировать ее вообще (чему отвечает $T = \infty$). Другими словами, формула (6) в этом случае должна давать большее или такое же значение стоимости машины, как и формула (5). Легко видеть, что это условие будет выполняться, только если

$$V(z+T, 0) \ge \frac{Ae^{-\alpha(qz+T)}}{r+\alpha} + R. \quad (7)$$

Учтем теперь, что каждому значению T отвечает свой способ использования машины. Рациональному способу должна отвечать наибольшая стоимость машины, так что при оптимальном T правая часть (6) должна быть максимальной, а входящее туда выражение в квадратной скобке – неотрицательным. Это условие можно записать так:

$$V(z, s) = \max_{T \ge s}\left\{\frac{Ae^{-\alpha(qz+s)}}{r+\alpha} + e^{-r(T-s)} \times\right.$$
$$\left.\times\max\left[0;\ V(z+T, 0) - R - \frac{Ae^{-\alpha(qz+T)}}{r+\alpha}\right]\right\}. \quad (8)$$

Нетрудно убедиться, что при пропорциональном увеличении A и R функция $V(z, s)$, удовлетворяющая уравнению (8), меняется в той же пропорции, а оптимальные значения T не изменяются. Это позволяет принять *стоимость ремонта* в качестве *единицы измерения стоимостей*, т.е. положить $R = 1$. Тогда

$$V(z, s) = \max_{T \ge s}\left\{\frac{Ae^{-\alpha(qz+s)}}{r+\alpha} + e^{-r(T-s)} \times\right.$$
$$\left.\times\max\left[0;\ V(z+T, 0) - 1 - \frac{Ae^{-\alpha(qz+T)}}{r+\alpha}\right]\right\}. \quad (9)$$

В частности, при $s = 0$ мы получаем уравнение для «послеремонтной» стоимости машин – функции одного переменного $N(z) = V(z, 0)$:

$$N(z) = \max_{T \ge 0}\left\{\frac{Ae^{-\alpha qz}}{r+\alpha} + e^{-rT} \times\right.$$
$$\left.\times\max\left[0;\ N(z+T) - 1 - \frac{Ae^{-\alpha(qz+T)}}{r+\alpha}\right]\right\}. \quad (10)$$

Если при этом окажется, что $N(z) = Ae^{-\alpha qz}/(r+\alpha)$, то машины в возрасте z и старше следует далее использовать по назначению, не ремонтируя. В противном же случае оптимальное значение $T = T(z) < \infty$ отразит длительность межремонтного цикла машины, находящейся на дату оценки в состоянии $(z, 0)$.

Решать уравнение (10) можно *методом последовательных приближений*. Для выбора нулевого приближения $N_0(z)$ примем, что машина, отремонтированная в возрасте z, далее вообще не будет проходить ремонтов ($T = \infty$). Тогда

$$N_0(z) = \frac{Ae^{-\alpha qz}}{r+\alpha}. \quad (11)$$

Последующие приближения будем определять формулой

$$N_{i+1}(z) = \max_{T \geq 0} \left\{ \frac{Ae^{-\alpha qz}}{r+\alpha} + e^{-rT} \times \right.$$
$$\left. \times \max\left[0; N_i\left(z+T\right) - 1 - \frac{Ae^{-\alpha(qz+T)}}{r+\alpha} \right] \right\}. \qquad (12)$$

Значения $N_i(z)$ при этом будут отражать стоимость машины, отремонтированной в возрасте z, – определенную при допущении, что далее она пройдет не более i ремонтов. Очевидно, что для каждого z функции $N_i(z)$, начиная с некоторого i, будут совпадать. В результате определяется оптимальное число ремонтов, которые должна пройти машина после того, как в возрасте z начался очередной ее межремонтный цикл. Очевидно также, что с увеличением z оптимальное число ремонтов не увеличивается, а при достаточно больших z ремонтировать машину становится нецелесообразно.

После того, как значения $N(z)$ и $T(z)$ будут определены, функция $V(z, s)$ при $s > T(z)$ определится из уравнения (5), а в противном случае – из уравнения (9):

$$V\left(z, s\right) = \frac{Ae^{-\alpha(qz+s)}}{r+\alpha} + e^{-r(T-s)} \times$$
$$\times \max\left[0; N\left(z+T\right) - 1 - \frac{Ae^{-\alpha(qz+T)}}{r+\alpha} \right]. \qquad (13)$$

Коэффициенты годности, отражающие *динамику процесса обесценения машины*, теперь могут быть рассчитаны по формуле $k(z, s) = V(z, s)/V(0,0)$. Подчеркнем, что эти коэффициенты отвечают рациональному использованию машины после даты оценки (до этой даты машина могла использоваться и нерационально). Результаты расчетов мы приведем в разделе 5.

4. ОБОБЩЕНИЕ ПОСТРОЕННОЙ МОДЕЛИ

Построенная модель основывалась на ряде не слишком реалистичных допущений. В этом разделе мы попробуем от них освободиться.

Начнем с предположения об *отсутствии налогов и инфляции*. В его оправдание можно привести два довода. В (ECO 2016; RICS Valuation – Global Standards 2017; MCO, 2017) говорится, что при использовании доходного подхода к оценке активов можно использовать разные типы потоков выгод – доналоговые и посленалоговые, номинальные (учитывающие инфляцию) и реальные (дефлированные, очищенные от влияния общей инфляции в стране). Однако при этом должна использоваться и соответствующая рыночная ставка дисконтирования. В нашей модели по существу использовались реальные доналоговые потоки, соответственно и ставка дисконтирования в этой модели должна быть реальной и доналоговой. Тот же результат вытекает и из иных соображений. А именно построенную модель можно уточнить, отразив в ней и рост цен на машины рассматриваемой марки, и налоги на прибыль и имущество. По сути, такая модификация моделей доходного подхода была предложена нами в (Смоляк, 2008) и позднее в (Смоляк, 2009, 2016). Оказалось, что в этом случае уравнения модели не меняются, но в качестве r должна приниматься номинальная доналоговая рыночная ставка дисконтирования, уменьшенная на темп роста цен на машины данной марки и увеличенная на ставку налога на имущество (выраженную в долях рыночной стоимости).

В модели принималось, что *утилизационная стоимость машин нулевая*, так что у машины оказывается *неограниченный срок службы*. Это, разумеется, не так. Однако относительная утилизационная стоимость машин обычно невелика (не более 10%), поэтому модель должна правильно описывать динамику стоимости машин до тех пор, пока эта стоимость превышает утилизационную (расчеты показывают, что это обычно имеет место в *последнем межремонтном цикле*, который продолжается до бесконечности).

При выводе формул (8) и (9) предполагалось, что выгоды от использования машины зависят только от ее состояния. На самом деле это не так: все эксплуатационные характеристики

машины зависят еще и от *условий*, в которых машина работает. Имеющиеся рекомендации о сроках службы машин и коэффициентах их годности ориентированы на машины, работающие в некоторых типичных (средних) условиях. Однако в ряде случаев известно, что оцениваемая машина работала ранее или будет работать в иных условиях. В модели это может быть приближенно учтено следующим способом: в более тяжелых условиях процесс физического изнашивания (deterioration) машины протекает быстрее. Некоторые технические нормы предусматривают более частое техническое обслуживание, текущие и капитальные ремонты. Наоборот, в более легких условиях такие работы проводятся реже, а процесс физического изнашивания протекает медленнее. По тем же причинам и рациональные сроки службы машин также зависят от условий их работы, что иногда отражается и в технической документации (влияние условий работы на сроки службы некоторых машин было отражено и в ранее действовавших нормах амортизационных отчислений).

Все это позволяет считать, что каждому типу условий использования машин отвечает свой *коэффициент условий работы* K – такой, что один год работы в этих условиях изменяет состояние машины так же, как и K лет работы в типичных условиях. О таких коэффициентах упоминается и в оценочной литературе. Так, в (Справочник оценщика, 2015; Федотова, 2018) приводятся коэффициенты, учитывающие характер производственного процесса и сменность работы. Модель, учитывающая влияние сменности на скорость физического изнашивания машин, приведена и в (Смоляк, 2016). Там же приведены и значения коэффициентов для некоторых видов машин, учитывающие влияние эксплуатационной среды (например, для работы электродвигателей в горячих цехах или для работы насосов по перекачке агрессивных жидкостей). Отношение календарного времени работы машины к *коэффициенту условий работы* при этом можно трактовать как *приведенное время работы*. В таком случае состояния машин, работающих в *нетипичных условиях*, можно описывать так же, как это и было сделано ранее, с той лишь разницей, что вместо календарного времени при этом должно использоваться *приведенное*. Такой прием для стоимостной оценки машин был рекомендован и в (Оценка стоимости машин, 2003). Соответственно при этом надо скорректировать и ставку дисконтирования, ибо она относится именно к календарному времени. Однако можно поступить иначе. Поскольку скорости физического изнашивания в «нетипичных» и типичных условиях соотносятся как $1 : K$, то темп снижения приносимых машиной выгод в нетипичных условиях будет в K раз меньше, чем в типичных, т.е. составит α/K. Поэтому учет условий использования машины сведется в модели только к изменению параметра α.

Однако при этом следует учесть, что теперь объектом оценки будет машина, которая может работать в разных условиях. Это значит, что есть типичные участники рынка, которые используют машину в типичных условиях, но есть и другие, которые используют ее в иных условиях, причем и тот и другой способы использования – рациональные. А машины в новом состоянии разные участники рынка приобретают на одном и том же секторе рынка, стало быть, рыночная стоимость таких машин не зависит от того, в каких условиях их будут использовать. Между тем при использовании в более тяжелых условиях эксплуатационные характеристики машины будут хуже и изнашиваться она будет быстрее. Такая ситуация возможна, только если работа, выполняемая в более тяжелых условиях, будет иметь более высокую стоимость. При этом интенсивность выгод, приносимых в начале эксплуатации машинами, работающими в нетипичных условиях (т.е. параметр A), будет иной. Таким образом, при использовании машины в нетипичных условиях динамику ее стоимости можно описать той же моделью, изменив при этом параметр α указанным выше способом, а затем скорректировав параметр A так, чтобы стоимость машины в новом состоянии $V(0, 0)$ осталась прежней.

В построенной нами модели не учитывалась *неопределенность* процесса эксплуатации машины. Разумеется, в полном объеме учесть это затруднительно, однако имеется возможность учесть случайные отказы машин. Обычно отказы машин бывают разных типов. Есть мелкие отказы, происходящие сравнительно часто, последствия которых устраняются при техническом обслуживании и текущем ремонте. В модели такие отказы можно учесть, включая соотверствующие затраты в состав операционных затрат. Однако имеют место и более сложные, аварийные, отказы, устранение последствий которых требует капитального ремонта. Учет подобных отказов существенно усложнит модель и заслуживает самостоятельного анализа. Наконец бывают и *фатальные* (*ресурсные*) отказы, обусловливающие необходимость утилизации машины. Оказывается, что возможность таких отказов не требует существенных корректировок нашей модели. Правда, при этом потребуется опереться на *принцип ожидания выгод* в той его форме, которая учитывает вероятностный характер процесса использования актива (Смоляк, 2014, 2016): *рыночная стоимость актива на дату оценки не превышает математического ожидания суммы приведенных выгод от использования актива в прогнозном периоде (включая и рыночную стоимость актива в конце периода) и совпадает с этим математическим ожиданием, если актив используется рациональным способом*.

Предположим, что фатальные отказы происходят с интенсивностью λ. Вернемся теперь к выводу формулы (3) и заметим, что продолжение использования машины по назначению принесет хоть какие-то выгоды только тогда, когда в соответствующем периоде длительности dt не произойдет фатального отказа, т.е. с вероятностью $(1 - \lambda dt)$. В противном же случае использование машины прекратится, а ее стоимость обратится в нуль. Поэтому математическое ожидание суммы выгод от использования машины в этом периоде (включая и стоимость машины в конце периода) здесь составит

$$(1-\lambda dt)\left[B(z,s)dt+(1-rdt)V(z,s+dt)\right]=$$
$$=B(z,s)dt+\left[1-(r+\lambda)dt\right]V(z,s+dt).$$

В результате в формуле (3) и во всех последующих ставка дисконтирования r заменится на $(r + \lambda)$. Таким образом, учесть фатальные отказы в нашей модели можно, увеличив ставку дисконтирования (которая ранее у нас была безрисковой) на интенсивность фатальных отказов.

В основу модели положено весьма серьезное допущение о том, что работы, выполняемые машиной, обращаются на рынке и имеют *известную рыночную стоимость*. Да и (МСО, 2017) допускают применение доходного подхода только для машин, *непосредственно приносящих доходы*. Действительно, на рынке обращаются работы и услуги, выполняемые некоторыми видами машин (транспортировка людей и грузов, окраска поверхностей, продажа товаров из вендинговых автоматов и др.). Есть предприятия, передающие на аутсорсинг выполнение отдельных технологических операций. А тогда расходы на аутсорсинг могут быть использованы для оценки стоимости таких же (или аналогичных) операций на других предприятиях. Наконец машины, выполняющие определенные операции, порой сдаются в аренду. Тогда о стоимости часа (или месяца) работы такой же (или аналогичной) машины свидетельствуют рыночные ставки арендной платы.

В то же время многие машины выполняют технологические операции, результаты которых потребляются на следующих этапах производственного процесса (например, изгибание металлического листа или перемещение обрабатываемого изделия). Такие операции на рынке обычно не обращаются, и ряд оценщиков считает, что рыночной стоимости у них нет. Здесь они ошибаются: эти операции необходимы владельцам машин – участникам рынка, а потому обладают полезностью, а значит, и рыночной стоимостью. Другое дело, что, по мнению многих оценщиков, эту стоимость (и, следовательно, размер приносимых

машиной выгод) нельзя оценить, опираясь на данные рынка. Однако и это утверждение справедливо лишь отчасти.

Данные о ценах сделок нужны для сравнительного подхода к оценке рыночной стоимости, но для применения других подходов они не требуются. Так, стоимости машин, отсутствующих на рынке на дату оценки (например, снятых с производства), тоже нельзя подтвердить данными о ценах рыночных сделок, но они успешно оцениваются затратным и доходным подходами. Эти же подходы применимы и к оценке стоимости выполняемых машинами работ.

Методы такой оценки приведены в (Смоляк, 2008, 2016). Другое дело, если бы мы оценили стоимость работ, выполняемых реальными машинами разного возраста, и рассчитали приносимые ими выгоды, то полученная зависимость могла бы оказаться не такой, как в построенной модели. Однако эта модель вполне пригодна для получения результатов качественного характера, выявления наиболее существенных факторов, влияющих на число и сроки проведения ремонтов. Если же ставить задачу стоимостной оценки подержанных машин конкретной марки, то для этого, разумеется, потребуется уточнить предложенную модель, отразив в ней более детально процесс изменения технико-экономических характеристик машины с возрастом. Правда, для приближенных расчетов коэффициентов годности наша модель вполне применима. Для этого достаточно подобрать ее параметры A, α и q так, чтобы получаемые значения относительной стоимости ремонта, длительности первого межремонтного цикла и коэффициента годности после первого ремонта (коэффициента восстановления) были бы близки к типичным для соответствующего рынка.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ

Проведено несколько серий экспериментальных расчетов, отвечающих разным комбинациям r, q, A и α. Каждой такой комбинации отвечает свое значение стоимости машины в новом состоянии $V(0, 0)$. Поскольку стоимость ремонта в модели принята за единицу, то обратная величина $1/V(0, 0)$ будет совпадать с более наглядным показателем относительной стоимости ремонта ρ. Поэтому в каждой серии расчетов варьировались значения одного или двух из параметров r, q, α и ρ, а значение параметра A подбиралось. Вначале определялись сроки (возраста) проведения ремонтов и коэффициенты годности машин $k(z, s)$. По этим данным строились зависимости коэффициентов годности от возраста, отвечающие машинам, которые с начала эксплуатации использовались рационально. Отдельно рассматривалась ситуация, когда срок проведения последнего ремонта машины отличался от рационального.

Серия 1. В этой серии рассматривались варианты при $r = 0{,}07$; $q = 0{,}2$; $\alpha = 0{,}15$ и $\rho = 0{,}2$; 0,3 и 0,4. Соответствующие графики коэффициентов годности приведены на рис. 1. Из сказанного в начале раздела 3 следует, что высота скачков на этих графиках равна относительной стоимости ремонта ρ.

Как видим, с ростом относительной стоимости ремонта (ρ) число ремонтов снижается, длительности межремонтных циклов увеличиваются, а стоимость машины снижается в среднем быстрее. К тому же при достаточно большом ρ целесообразно вообще не ремонтировать машину.

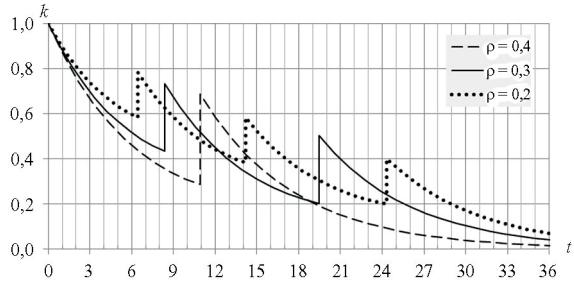

Рис. 1. Зависимость коэффициентов годности от возраста машин при $r = 0{,}07$; $q = 0{,}2$; $\alpha = 0{,}15$ и разных значениях ρ

Более высоким значениям α отвечают машины, состояние которых ухудшается быстрее. При одних и тех же ρ эти машины целесообразно меньше ремонтировать, да и длительность межремонтных циклов у них оказывается короче.

В (Справочник оценщика, 2015; Федотова, 2018) и других публикациях для оценки машин предлагается использовать зависимости коэффициентов физического износа от относительного возраста – отношения календарного возраста к сроку службы (среднему или нормативному) машин. При этом предполагается, что такая зависимость, построенная для машин одной марки, будет годиться и для аналогичных машин с другими сроками службы. В нашей модели срок службы машин бесконечный, но их можно охарактеризовать другим показателем, имеющим размерность времени, – «характерным возрастом». Это величина 1/α, которая отражает длительность периода, за который приносимые машиной выгоды уменьшаются в *e* раз.

Поэтому относительным возрастом (τ) здесь можно считать отношение календарного возраста (*t*) к «характерному», т.е. $\tau = \alpha t$. Зависимости коэффициентов годности машин от относительного возраста для вариантов с $q = 0{,}2$; $\rho = 0{,}2$ и $\alpha = 0{,}15$ и 0,3 представлены на рис. 2. Они действительно оказываются достаточно близкими, хотя при изменении α длительности межремонтных циклов изменяются не в обратной пропорции.

Соответствующие расчеты позволяют учесть и влияние изменения условий эксплуатации машины. Действительно, если, например, в более тяжелых условиях машина изнашивается в *K* раз быстрее, то ей будет отвечать и в *K* раз большее значение α. Ясно, что при этом длительности межремонтых циклов сократятся, а в первом межремонтном цикле – примерно в *K* раз. Динамика процесса обесценения машины изменится, и в результате стоимости машины одной марки одного возраста на одну и ту же дату будут существенно различаться. Поэтому различия в условиях эксплуатации – одна из объективных причин большого разброса цен на вторичном рынке.

Серия 2. Здесь при $r = 0{,}07$ выяснялось влияние «восстанавливающей способности» ремонта (*q*) на динамику обесценения. Рассчитанные зависимости коэффициентов годности от возраста для машин с $\alpha = 0{,}3$; $\rho = 0{,}2$ при $q = 0{,}2$ и 0,3 показаны на рис. 3.

Как и следовало ожидать, с ростом *q* (уменьшением *восстанавливающей способности* ремонта) стоимость машины быстрее снижается с возрастом. Длительности межремонтных циклов при этом увеличиваются, а рациональное число ремонтов за срок службы при этом может уменьшиться.

Учитывая влияние ремонтов на стоимость машин, оценщики принимают, что коэффициент годности машины после первого ремонта (его еще называют *коэффициентом*

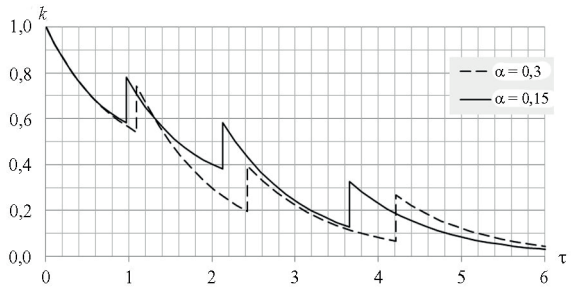

Рис. 2. Зависимость коэффициентов годности от относительного возраста машин при $r = 0{,}07$; $q = 0{,}2$; $\rho = 0{,}2$ и разных значениях α

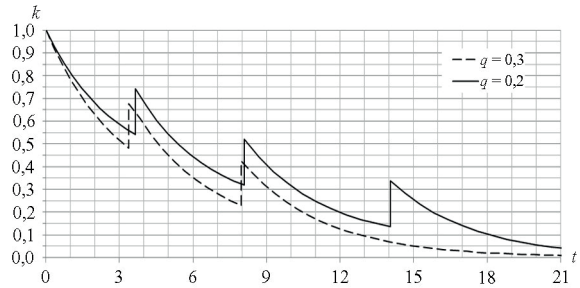

Рис. 3. Зависимости коэффициентов годности от возраста машин с $\rho = 0{,}2$, $\alpha = 0{,}3$ при разных *q*

восстановления) составляет 0,6…0,8 (см. (Справочник оценщика, 2015, табл. 3.2.4)). Это подтверждают и наши расчеты, так что принятые нами значения q = 0,2 и 0,3 можно считать вполне реалистичными. При этом с ростом q коэффициенты восстановления снижаются.

Интересно отметить также следующее обстоятельство. Как видно из формулы (1), у машины, отремонтированной в возрасте t лет, интенсивность чистых доходов становится такой же, как у машины в возрасте qt лет, не проходившей ремонта. Однако это не означает, что стоимость и коэффициент годности у нее будут такими же. Посмотрим, например, на сплошную линию на рис. 3, отвечающую q = 0,2. Здесь машина проходит второй ремонт в возрасте 8,1 года. После этого интенсивность чистых выгод у нее становится такой же, как и в возрасте 0,2 × 8,1 = 1,62 года, тогда как коэффициент годности (0,52) оказывается примерно таким же, как и в возрасте 5,2 года.

Серия 3. Здесь мы варьировали ставки дисконтирования (r). В общем случае она равна номинальной *доналоговой безрисковой ставке*, уменьшенной на темп роста цен на машины данной марки и увеличенной на интенсивность фатальных отказов. Принятая выше ставка r = 0,07 примерно отвечает номинальной доналоговой безрисковой ставке дисконтирования 8,8% (определена по кривой бескупонной доходности государственных облигаций со сроком погашения 30 лет в конце 2018 г.), росту цен на машины 3% в год и интенсивности фатальных отказов 0,02 год$^{-1}$.

Фатальные отказы обычно связаны с дорожно-транспортными происшествиями, природными явлениями (наводнения, ураганы), нередко – с низкой квалификацией обслуживающего машину персонала. Их максимальная интенсивность, скорее всего, не превышает 0,081 год$^{-1}$ (в среднем – 1 отказ за 12,5 года). Этому будет отвечать ставка дисконтирования 0,07 + 0,08 = 0,15. Зависимости коэффициентов годности от возраста для машин с q = 0,3; ρ = 0,2; α = 0,3 при ставках дисконтирования 0,07 и 0,15 представлены на рис. 4.

Как видим, при более высоких ставках дисконтирования длительности межремонтных циклов становятся немного меньше.

В условиях российской экономики даже безрисковые номинальные ставки дисконтирования существенно и непредсказуемо меняются, меняются и темпы роста цен на машины различных марок. Соответственно должны меняться и рациональные длительности межремонтных циклов.

В частности, модель (9) позволяет установить оптимальную длительность первого межремонтного цикла T_1 (точнее, возраст, при котором рационально используемая машина должна проходить первый капитальный ремонт). На рис. 1–4 моменту окончания первого межремонтного цикла отвечают первые скачки коэффициента годности. Зависимость T_1 от относительной стоимости ремонта представлена на рис. 5.

Скачки на графике отвечают значениям ρ, при которых изменяется рациональное число межремонтных циклов. Точка, выделенная жирным (см. рис. 5), отвечает максимальному значению ρ, при котором машину целесообразно ремонтировать.

Серия 4. В рассмотренных выше ситуациях машины использовались наиболее эффективно *с момента ввода в эксплуатацию*. Однако при оценке подержанных машин приходится

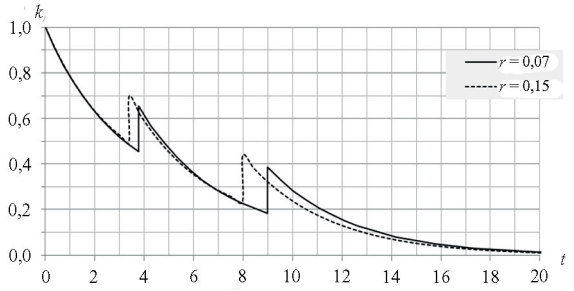

Рис. 4. Зависимости коэффициентов годности от возраста у машин с ρ = 0,2; α = 0,3; q = 0,3 при разных ставках дисконтирования r

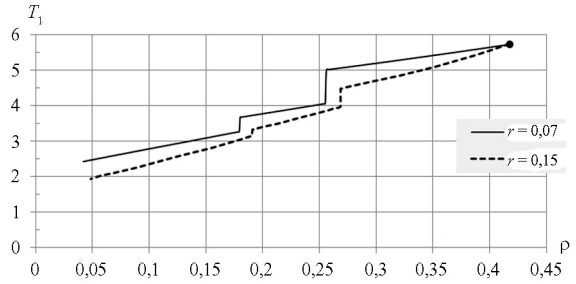

Рис. 5. Зависимость длительности первого межремонтного цикла от относительной стоимости ремонта у машин с $q = 0{,}3$; $\alpha = 0{,}3$ при разных ставках дисконтирования r

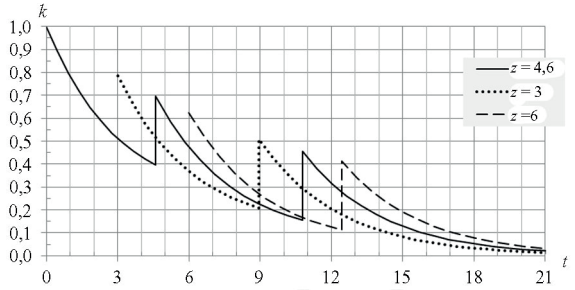

Рис. 6. Зависимости коэффициентов годности от возраста у машин с $q = 0{,}2$; $\rho = 0{,}3$; $\alpha = 0{,}3$ при $r = 0{,}07$ и разных моментах первого ремонта

учитывать, что в предшествующем периоде их могли использовать нерационально или в разных условиях. Рассмотрим две подобные ситуации при $r = 0{,}07$ для машины, у которой $\alpha = 0{,}3$; $q = 0{,}2$; $\rho = 0{,}2$ (динамика ее обесценения отражена сплошной линией на рис. 3). Такая машина проходит первый ремонт в возрасте $z = 3{,}6$ года, второй – через 4,4 года. Посмотрим теперь, что будет, если первый ремонт машины провести в возрасте трех или шести лет. Зависимости коэффициентов годности от возраста для всех трех случаев представлены на рис. 6.

Оказывается, что при более позднем первом ремонте продолжительность следующих циклов увеличиваются, а при длительности $z = 3$ необходимости в третьем ремонте уже нет. Это значит, что от выбора момента ремонта меняется динамика обесценения машин. Это еще одна причина разброса цен машин на вторичном рынке.

Как видим, ориентация на экономические интересы владеющих машинами предприятий заставляет пересмотреть подходы к формированию ремонтной политики. При этом оказывается, что на рациональное число и сроки проведения ремонтов влияют не только условия работы машин и зависящая от них интенсивность фатальных отказов, но и стоимость ремонта, его *восстанавливающая способность*, сроки ранее проведенных ремонтов, а также макроэкономические факторы, определяющие ставку дисконтирования.

Все это не позволяет считать, что для машин конкретной марки можно заранее (например, при переходе к серийному производству) установить *твердый* и *нормативный графики* проведения капитальных ремонтов. В условиях переходной экономики такие графики должны корректироваться при изменениях конъюнктуры на товарных и финансовых рынках. Поэтому не следует воспринимать нормативы периодичности капитальных ремонтов (некоторые из них были установлены еще в прошлом столетии как обязательные документы). Ориентироваться на них оценщикам необходимо с большой осторожностью, хотя они все же дают какое-то представление о рациональном графике ремонтов. Наши расчеты показывают, что в общем случае длительности первого и последующих межремонтных циклов различаются. Они зависят от темпов ухудшения технико-экономических характеристик машины с учетом ее возраста. Представляется, что необходимо возобновить работы по установлению зависимостей от возраста эксплуатационных характеристик машин, работающих в разных условиях, прошедших и не прошедших капитальный ремонт. Это позволит предприятиям вырабатывать более рациональную ремонтную политику, а оценщикам – более обоснованно оценивать стоимость машин.

Список литературы

Андрианов Ю.В. Оценка автотранспортных средств. М.: Дело, 2006.

ЕСО 2016. Европейские стандарты оценки 2016. 8-е изд.) М.: Российское общество оценщиков, 2016.

МСО 2017. Международные стандарты оценки 2017. М.: Российское общество оценщиков, 2017.

Михайлец В.Б. Формула для расчета стоимости с учетом неустранимого и устранимого износов. 2007. URL: http://www.ocenchik.ru/docs/465.html.

Оценка стоимости машин, оборудования и транспортных средств / Ковалев А.П., Кушель А.А., Хомяков В.С., Андрианов Ю.В., Лужанский Б.Е., Королев И.В., Чемерикин С.М. М.: Интерреклама, 2003.

Смоляк С.А. Проблемы и парадоксы оценки машин и оборудования. М.: РИО МАОК, 2008.

Смоляк С.А. Эргодические модели износа машин и оборудования // Экономика и математические методы. 2009. Т. 45. № 4. С. 42–60.

Смоляк С.А. Оптимизация ремонтной политики и оценка стоимости машин с учетом их надежности // Журнал Новой экономической ассоциации. 2014. № 2 (22). С. 102–131.

Смоляк С.А. Стоимостная оценка машин и оборудования (секреты метода ДДП) / под ред. Ю.В. Козырь. М.: Опцион, 2016.

Справочник оценщика машин и оборудования. 1-е изд. Н. Новгород: Приволжский центр методического и информационного обеспечения оценки, 2015.

Степанов Д.Н. К определению физического износа для машин и оборудования? 29.05.2007. URL: http://www.ocenchik.ru/method/machines/223.

Федотова М. (ред.). Оценка машин и оборудования. М.: ИНФРА-М, 2018.

Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: справочник. М.: НЦ ЭНАС, 2006.

Assessors' Handbook Section 581. Equipment and Fixtures Index, Percent Good and Valuation Factors. (2017). California State Board of Equalization. URL: http://www.boe.ca.gov/proptaxes/pdf/ah58117.pdf.

Bartholomew-Biggs M., Christianson B., Zuo M. Optimizing preventive maintenance models // Computational Optimization and Applications. 2006. № 35 (2). P. 261–279.

Kijima M. Some results for repairable systems with general repair // Journal of Applied probability. 1989. № 26 (1). P. 89–122.

Krivtsov V., Yevkin A. Comparative analysis of optimal maintenance policies under general repair with underlying Weibull distributions // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. 2014. № 2. P. 57–64 (на англ.).

Personal Property Depreciation Schedules and Trend Tables, 2018. Montana Department of Revenue. URL: https://mtrevenue.gov/wp-content/uploads/2018/01/2018-PPR-Deprectiation-Schedules.pdf.

Personal Property Manual. 2018. Arizona Department of Revenue. URL: https://azdor.gov/sites/default/files/media/PROPERTY_pp-manual.pdf.

RICS Valuation – Global Standards. L.: RICS, 2017.

Shey-Huei S., Suh-Huey L., Chin-Chih C. A generalized maintenance policy with age-dependent minimal repair cost for a system subject to shocks under periodic overhaul // International Journal of Systems Science. 2012. № 43 (6). P. 100–1013.

Wang H., Pham H. Reliability and Optimal Maintenance. L.: Springer, 2006.

Рукопись поступила в редакцию 19.12.2018 г.

OPTIMIZATION OF THE NUMBER AND FREQUENCY OF REPAIRS

S.A. Smolyak

DOI: 10.33293/1609-1442-2019-2(85)-84-103

Sergey A. Smolyak, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, smolyak1@yandex.rusmolyak1@yandex.ru

When managing the production process at an enterprise, it is important to correctly develop a policy for overhauls of machinery and equipment. Usually for this purpose, enterprises use the standards for the repairs frequency recommended in the literature. In publications on the reliability theory, repair policy is considered as an optimization problem. In publications on the theory of reliability, this problem is considered as optimization. In this case, usually the criterion of optimization is some kind of relative indicator, such as availability rate or average operating costs per unit of time. However, such criteria do not fully reflect the economic interests of enterprises – owners of equipment. In a market economy, these enterprises are focused on maximizing their market value. In this paper, we propose to form a repair policy in which the market value of the enterprise, and therefore all its assets, will be most. The corresponding mathematical model is the best use underling the valuation theory. It also takes into account the physical deterioration of machines during their operation, as well as the possibility of random marginal failures, leading to the need to stop using the machine. In this case, the improvement of the technical condition of the machine after its overhaul is described using the Kijima imperfect repair model. The calculations carried with our model allow establishing how the optimal number and timing of repairs depend on such parameters as repair cost and its restoration factor, the rate of physical wear of machines, and the intensity of their resource failures. We show how to use the constructed model to take into account the effect of inflation rates and income and property tax rates on the repair policy.

Keywords: machinery, equipment, deterioration, market value, valuation, income approach, anticipation of benefits, best use, overhaul, inter-repair cycle, Kijima model, marginal failure.

JEL: C61, D46, D81, L23.

References

Andrianov Yu.V. (2006). Vehicle valuation. Moscow, Delo (in Russian)

Bartholomew-Biggs M., Christianson B., Zuo M. (2006). Optimizing preventive maintenance models. *Computational Optimization and Applications,* no. 35 (2), pp. 261–279.

California State Board of Equalization. (2017). Assessors' Handbook Section 581. Equipment and Fixtures Index, Percent Good and Valuation Factors. URL: http://www.boe.ca.gov/proptaxes/pdf/ah58117.pdf.

European Valuation Standards (2016). Eighth edition. TEGoVA.

Fedotova M. (ed.). (2018). Valuation of machinery, equipment and vehicles. Moscow, INFRA-M (in Russian).

Handbook of the appraiser of machines and equipment. (2015). 1st ed. Nizhny Novgorod, Volga Center for Methodological and Informational Support of Assessment (in Russian).

International Valuation Standards (2017). International Valuation Standards Council.

Kijima M. (1989). Some results for repairable systems with general repair. *Journal of Applied Probability*, vol. 26 (1), pp. 89–122.

Kovalyov A.P., Kushel A.A. et al. (2003). Valuation of machinery, equipment and vehicles. Moscow, Interreclama (in Russian).

Krivtsov V., Yevkin A. (2014). Comparative analysis of optimal maintenance policies under general repair with underlying Weibull distributions. *Power Engineering and Computer Integrated Technologies in AIC*, no. 2, pp. 57–64.

Mikhaylets V.B. (2007). The formula for value calculating, taking into account curable and incurable physical obsolescence. URL: http://www.ocenchik.ru/docs/465.html (in Russian).

Personal Property Depreciation Schedules and Trend Tables (2018). URL: https://mtrevenue.gov/wp-content/uploads/2018/01/2018-PPR-Deprectiation-Schedules.pdf.

Personal Property Manual. URL: https://azdor.gov/sites/default/files/media/PROPERTY_pp-manual.pdf.

RICS Valuation – Global Standards (2017). London, RICS.

Shey-Huei S., Suh-Huey L., Chin-Chih C. (2012). A generalized maintenance policy with age-dependent minimal repair cost for a system subject to shocks under periodic overhaul. *International Journal of Systems Science*, no. 43 (6), pp. 1007–1013.

Smolyak S.A. (2008). Problems and paradoxes of machinery and equipment valuation. Moscow, RIO MAOC (in Russian).

Smolyak S.A. (2009). Ergodic models of machine and equipment depreciation. *Economics and Mathematical Methods*. vol. 45, no. 4, pp. 42–60 (in Russian).

Smolyak S.A. (2014). Overhaul policy optimization and equipment valuation concerning its reliability. *Journal of the New Economic Association*, vol. 22 (2), pp. 102–131 (in Russian).

Smolyak S.A. (2016). Valuation of machinery and equipment (Secrets of the DCF method). Moscow, Option Publishing House (in Russian).

Stepanov D.N. (2007). To the definition of physical obsolescence for machinery and equipment. URL: http://www.ocenchik.ru/method/machines/223/ (in Russian).

Wang H., Pham H. (2006). Reliability and Optimal Maintenance. London, Springer.

Yashchura A.I. (2006). The system of maintenance and repair of general industrial equipment: Handbook. Moscow, NC ENAS (in Russian).

Manuscript Received 19.12.2018

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ СОБСТВЕННОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА ЗАРАБОТНУЮ ПЛАТУ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ

А.Л. Синица

DOI: 10.33293/1609-1442-2019-2(85)-103-115

В настоящее время темпы социально-экономического развития в значительной степени определяются уровнем развития системы образования. Дошкольное и общее образование играют особую роль, так как формируют основные особенности будущей рабочей силы (согласно Федеральному закону от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании» (ст. 10. п. 4, ст. 63 и другие статьи гл. 7 «Общее образование»)). Качество системы образования зависит от многих факторов, одним из которых является размер оплаты труда педагогических работников. Первая цель работы – демонстрация того, что, несмотря на Указ Президента РФ от 7 мая 2012 г. № 597 «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики», заработная плата педагогических работников и их уровень жизни продолжают оставаться низкими. Второй целью работы является анализ их заработной платы с учетом формы собственности образовательной организации. Для этого рассмотрены основные показатели, как представленные в открытых базах органов статистики, так и рассчитанные автором: абсолютный размер оплаты труда педагогических работников и ее прирост, их заработная плата относительно средней по региону и заработная плата относительно прожиточного минимума (ПМ) взрослого трудоспособ-

© Синица А.Л., 2019 г.

Синица Арсений Леонидович, к.э.н., научный сотрудник, Лаборатория экономического образования, экономический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, sinitsa@econ.msu.ru