
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТИ МОРСКОГО ГРУЗОВОГО СУДНА В РЕГУЛЯРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ РЕЙСАХ

© 2017 г. С.А. Смоляк¹

Аннотация. Предлагается модель определения наиболее эффективной скорости грузового судна, осуществляющего линейные коммерческие перевозки. Модель учитывает зависимость отдельных статей эксплуатационных затрат на выполнение рейса от возраста судна и его скорости. В основу создания модели положены два принципа. Первый: стоимость объекта не превосходит суммы дисконтированных выгод от его использования за малый период времени и стоимости того же объекта в конце периода и совпадает с этой суммой при наиболее эффективном использовании объекта. Таким образом, наиболее эффективным будет движение судна с такой скоростью, которая обеспечит ему наибольшую рыночную стоимость. Второй: если на дату оценки и в некотором предшествующем ей периоде были установлены зависимости стоимости объектов от их характеристик (например, возраста), то они будут справедливы и в малом периоде после этой даты. Анализируются альтернативные критерии оптимизации скорости судов, предложенные в литературе.

Ключевые слова: грузовое судно, линейные рейсы, скорость, возраст, операционные затраты, стоимостная оценка, рыночная стоимость, обесценение, критерии оптимизации.

Классификация JEL: C51, D24, D46, L21.

Из Ливерпульской гавани
Всегда по четвергам
Суда уходят в плаванье
К далеким берегам.
Плывут они в Бразилию,
Бразилию, Бразилию.
И я хочу в Бразилию —
К далеким берегам!

Р. Киплинг (пер. С.Я. Маршака)

1. ВВЕДЕНИЕ

Задачи оптимизации скорости коммерческого судна и срока его службы рассматривались многими авторами. Уже в 1930-е годы в СССР появились первые работы об оптимизации сроков службы машин, например (Буянов, 1938; Протодяконов, 1934). В связи с необходимостью обоснования норм амортизационных отчислений, начиная с 1960-х годов, внимание к этой проблеме усилилось. Новые подходы к ее решению были отражены во множестве публикаций, в том числе (Гибшман, 1963; Канторер, 1963; Колегаев, 1967; Лившиц, Смоляк, 1973; Палкин, 1964). Задачи оптимизации скорости и других характеристик транспортных средств также стали решаться в СССР, начиная с 1930-х годов, и особенно активно — с конца 1950-х годов. Эти задачи рассматривались как составная часть более общих задач оптимального планирования развития экономики страны. Исходя из общей методологии оптимального планирования, разрабатывавшейся в ЦЭМИ РАН (тогда — АН СССР), теорию оптимального развития и эксплуатации в отраслях транспорта в СССР развивали такие научно-исследовательские и проектные институты, как Институт комплексных транспортных проблем (ИКТП) при Госплане СССР, Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), Московский институт инженеров транспорта (МИИТ), СоюзморНИИпроект. В качестве примеров можно привести такие работы, как (Гибшман, 1984; Козин, Козлов, 1964; Луговой, Цыпин, Аукуционек, 1973; Пейсахзон, 1952; Ступин, Лимонов, 1973;

¹ Сергей Абрамович Смоляк — д.э.н., главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН, Москва; smolyak1@yandex.ru.

Черномордик, 1948). Однако в большинстве подобных работ ставилась задача оптимизации развития и использования всего парка соответствующих транспортных средств в целом. В качестве критерия здесь была принята сумма дисконтированных затрат на выполнение заданных на перспективу объемов работ. Близкий подход к решению такой задачи применен в (Лившиц, Смоляк, 1973; Смоляк, Филимонов, 1975). К сожалению, в условиях рыночной экономики использование предложенных методов решения этих задач потребовало бы долгосрочного прогнозирования цен и экономических характеристик транспортных средств.

Оптимизация скорости судна и срока его службы является одной из задач оптимального управления конкретным объектом. При решении подобных задач локальной оптимизации в СССР, начиная с 1970-х годов, использовались критерии максимума прибыли или минимума приведенных затрат (иногда — удельных, т.е. на единицу времени, или наработки). Кстати, в (Лившиц, Смоляк, 1973; Смоляк, Филимонов, 1975) было показано, что в оптимальном плане развития машинного парка достигается минимум локального критерия оптимальности — удельных дисконтированных затрат (отношения суммарных дисконтированных затрат на производство и эксплуатацию машины к ее суммарной дисконтированной производительности).

Из большого числа зарубежных публикаций послевоенных лет по оптимизации сроков службы техники следует отметить (Terborgh, 1948; Массе, 1971). Вопросам оптимизации скорости судов посвящены работы (Gudehus, 1963; Gudehus, 2010a, 2010b; Papadakis, Perakis, 1989; Ronen, 1982). При этом в качестве критерия оптимальности принимаются прибыль, затраты или расход топлива в среднегодовом или среднесуточном исчислении.

Однако такие критерии представляются неприемлемыми по трем причинам.

1. Выполнение каждого рейса представляет собой некий инвестиционный проект, в котором судовладелец выступает в качестве инвестора. Естественно, как и в любом проекте, инвестор хочет получить возможно больший эффект от реализации проекта. Однако указанные критерии отражают такой эффект лишь частично.

2. Получение положительной прибыли еще не свидетельствует о том, что судно используется эффективно, также необходимо, чтобы эта прибыль превышала нормальный доход на вложенный в судно капитал. Точно так же получение убытка не говорит о неэффективном использовании судна, иначе суда, идущие порожняком, следовало бы немедленно утилизировать.

3. При исчислении прибыли в составе затрат обычно учитывается начисляемая по установленным государством правилам амортизация, которая не отражает уменьшения рыночной стоимости (обесценения) судна за время рейса. При решении задач выбора оптимального варианта использования объектов «народнохозяйственная прибыль» (экономический эффект) в СССР считалась иначе. Здесь амортизация объекта исчислялась по формуле Лурье, и дополнительно учитывалась прокатная оценка вложенного в объект капитала (Лурье, 1973; Методика..., 1977). Однако оба этих слагаемых принимались неизменными на протяжении всего срока службы объекта. Тот же недостаток присущ и современным работам западных специалистов по проблемам оптимизации морских перевозок, например (Gudehus, 2010b; Stopford, 2009). В этих работах в составе затрат учитываются неизменные по годам финансовые затраты (capital costs) — по сути — аннуитетные платежи, как если бы судно приобреталось в кредит на весь срок его службы. При этом оказывается, что оптимальная скорость судна зависит от условий финансирования его покупки, тогда как наиболее эффективное использование судов в одинаковом техническом состоянии не должно зависеть от этих условий.

Между тем можно взглянуть на процесс использования имущества с позиций его стоимостной оценки. Дело в том, что рыночная стоимость имущества должна отражать его наиболее эффективное использование МСО 2011, Принципы МСО, п. 32 (Международные стандарты оценки 2011, 2013). Поэтому при оценке имущества необходимо оптимизировать его различные эксплуатационные характеристики¹ (в том числе для судна — его скорость и срок службы). Критерием оптимальности при этом выступает рыночная стоимость имущества. Эта идея была положена автором в основу ряда моделей стоимостной оценки, которые, в частности, позволяют оптимизировать сроки службы машин и оборудования (Смоляк, 2008, 2009), а также периодичность

¹Здесь нельзя не указать, что при выборе наиболее эффективных способов использования машин и оборудования оценщики нередко просто игнорируют подобную оптимизацию.

проведения их капитальных ремонтов (Смоляк, 2013, 2014). В настоящей статье строится модель такого же типа для грузовых морских судов.

2. ОБЩАЯ ИДЕЯ МОДЕЛИ. РЕЗУЛЬТАТЫ И ЗАТРАТЫ

Мы будем говорить о грузовых судах, осуществляющих линейные перевозки, т.е. совершающих регулярные круговые рейсы по определенным маршрутам между портами (на маршруте может быть несколько портов, куда доставляют и откуда забирают грузы). В период стоянок в портах осуществляется погрузка и выгрузка грузов, техническое обслуживание (в том числе и некоторые ремонтные работы), позволяющее поддерживать техническое состояние судна на приемлемом уровне. Судовладелец получает определенную выручку (валовой доход) за каждую партию груза, перевезенного из одного порта в другой, исходя из складывающихся на рынке фрахтовых ставок. На разных участках рейса суда могут двигаться с разной скоростью (разумеется, в определенных пределах).

Наряду с рынком перевозок есть и рынок судов. Точнее, таких рынков три. На *первичном* рынке обращаются только что построенные суда. Про них мы говорим, что их возраст — ноль лет, они — новые. На *вторичном* рынке продаются и приобретаются для использования по назначению подержанные суда. На *скраповом* рынке продаются суда, которые нецелесообразно использовать по назначению (суда, требующие утилизации). Будем считать, что на всех трех рынках спрос сбалансирован с предложением, и цены судов отражают их рыночную стоимость.

Мы хотим оптимизировать скорости хода конкретного судна по определенному маршруту, начинающемуся в некотором базисном порту. Однако наряду с этим судном мы будем рассматривать и его *аналоги*. На этом следует остановиться подробнее. Казалось бы, что к аналогам данного судна надо отнести суда, имеющие точно такие же технико-экономические характеристики. Однако это неудобно, поскольку в ходе эксплуатации характеристики судна меняются. А тогда судно сегодня и то же судно через месяц уже нельзя будет считать аналогами. На этом основании будем считать аналогами те (реальные или виртуальные) суда, которые имели одинаковые технико-экономические характеристики, *будучи новыми*.

Такое определение, строго говоря, тоже не очень удобное. Дело в том, что все новые суда тоже разные. Даже суда, построенные по одному и тому же проекту на одной и той же верфи (так называемые *sisters*), несколько отличаются друг от друга своими техническими характеристиками. В этом — существенная разница между судами и, например, автомобилями или железнодорожными вагонами определенных моделей.

Все аналоги данного судна мы объединяем в одну совокупность и далее будем рассматривать только ее. Состояние каждого судна (из этой совокупности) мы описываем его *возрастом*. Другими словами, мы принимаем не слишком реалистичное допущение, что все суда одного возраста имеют одни и те же технико-экономические характеристики, а значит, — одну и ту же рыночную стоимость.

Кроме того, будем считать, что в рассматриваемую совокупность входят суда любого возраста. Это — тоже определенная условность: если судно было сооружено, например, 15 лет тому назад, то трудно представить себе, что сегодня на рынке появился его новый современный аналог. Тем не менее оценщики могут представить себе такой аналог как объект рыночной сделки и оценить его стоимость (ее называют стоимостью воспроизводства).

Для решения поставленной задачи будем оценивать рыночную стоимость сразу всех судов совокупности. Согласно теории стоимостной оценки (Международные стандарты оценки 2011) стоимость имущества определяется чистыми выгодами (чистыми доходами; это понятие будет раскрыто далее) от его наиболее эффективного использования. Более точно соответствующая зависимость может быть сформулирована в виде следующего *принципа дисконтирования*, лежащего в основе доходного подхода к оценке имущества: *стоимость имущества на дату оценки не превосходит суммы дисконтированных (к дате оценки) чистых выгод от его использования в некотором периоде времени и дисконтированной стоимости того же имущества в конце периода и совпадает с этой суммой, если способ использования имущества наиболее эффективный* (Смоляк, 2009).

Обычно в качестве «некоторого периода» выбирается либо период, для которого имеется возможность достаточно обоснованно прогнозировать потоки чистых выгод от использования имущества, либо период намечаемого владения имуществом (обычно – не более 10–15 лет), либо весь период предстоящего использования имущества по назначению, завершающийся его утилизацией. При этом во всех вариантах выбора возникают серьезные проблемы.

В первом варианте продолжительность периода составляет, как правило, не более 3–5 лет. При этом возникает необходимость достаточно обоснованно прогнозировать стоимость имущества в конце периода (терминальную), так как ее вклад в оцениваемую стоимость имущества может достигать 80–95%.

Во втором варианте требования к точности оценки терминальной стоимости несколько снижаются, однако здесь не удастся обеспечить достаточной точности среднесрочного прогноза потока выгод от использования имущества.

Третий вариант при оценке имущества обычно используется лишь для построения упрощенных моделей, ориентированных на те или иные гипотезы о регулярной (в том или ином смысле) динамике изменения чистых выгод. В то же время он широко применяется при оценке эффективности инвестиционных проектов (Виленский, Лившиц, Смоляк, 2015).

В связи с этим важно отметить, что при определенных предположениях и при правильном подсчете чистых выгод способ использования имущества, обеспечивающий максимальную стоимость имущества, одновременно максимизирует и эффект (чистый дисконтированный доход, NPV) инвестиционного проекта, предусматривающего приобретение имущества на дату оценки по рыночной стоимости и последующее его использование. О взаимосвязи методов оценки имущества и оценки эффективности инвестиционных проектов подробнее см., например, в (Микерин, Смоляк, 2010; Виленский, Лившиц, Смоляк, 2015).

При построении искомой модели будем временно (до раздела 4) предполагать, что инфляция и налог на прибыль отсутствуют, а продолжительность каждого рейса мала по сравнению с годом.

Стоимость судна возраста t , находящегося на дату оценки в базисном порту и готового принять груз для перевозки по новому рейсу, обозначим через $V(t)$ и будем считать ее гладкой функцией от t . С увеличением возраста состояние судна ухудшается, поэтому функция $V(t)$ – убывающая. Однако, начиная с некоторого предельного возраста T лет, использовать судно по назначению становится неэффективно, и такие суда утилизируются – продаются на скраповом рынке по их *скраповой* стоимости U (обычно она определяется исходя из водоизмещения судна в порожнем состоянии – LDT). Это значит, что $V(t) > U$ при $t < T$ и $V(t) = U$ при $t \geq T$. Указанный предельный возраст T при этом может трактоваться как сложившийся на дату оценки рациональный срок службы судов рассматриваемой совокупности.

Под *восстановительной* стоимостью (ВС) рассматриваемого судна (и вообще всех судов данной совокупности) мы понимаем стоимость $V(0)$ его нового аналога.

Отношение $k(t) = V(t)/V(0)$ рыночной стоимости судна к его ВС называется *коэффициентом годности* судна. В США его выражают в процентах и именуют процентом годности (percent good factor, PGF). Их значения для разных видов машин и оборудования определяются по специальным ежегодно пересматриваемым таблицам, например (Assessors' Handbook Section 581, 2016). При этом для оценки рыночной стоимости машины вначале оценивается ее ВС, к которой затем применяется процент годности. В РФ поступают аналогично, но вместо процентов годности используют их дополнения до 100% – проценты обесценения (износа), определяемые по специальным формулам или таблицам, например (Справочник оценщика..., 2015).

Будем считать, что в начале рейса судно загружается полезным грузом, выходит из базисного порта и совершает круговой рейс, останавливаясь в промежуточных портах для разгрузки и загрузки новых грузов, пока не вернется в базисный порт. Таким образом, в конце рейса судно оказывается в том же положении, в каком оно было в начале рейса, с той лишь разницей, что его возраст увеличился.

Длительность этого кругового рейса включает время стоянки в портах (включая время на погрузку, разгрузку и техническое обслуживание) и время перевозки (время движения от одного порта к другому). Далее эту длительность будем считать малой по сравнению с годом.

Под чистыми выгодами от использования судна в рассматриваемом рейсе мы понимаем валовой доход (выручку) I судовладельца – типичного участника рынка – от перевозки грузов за вычетом расходов (кроме финансовых), связанных с его выполнением².

Способ исчисления валового дохода существенно зависит от условий договора на перевозку, которые весьма разнообразны и которым могут отвечать различные виды фрахтовых ставок и надбавок к ним. Поэтому в данной статье мы условно предполагаем, что фрахтовая ставка относится только к перевозке груза, тогда как, например, его упаковка в контейнеры, маркировка, погрузка, разгрузка, перемещения внутри и вне порта оплачиваются отправителем отдельно и во фрахтовую ставку не входят.

Следуя (Stopford, 2009), учитываемые на перевозку груза расходы можно разделить на следующие составляющие:

1) топливо и смазочные материалы – это одна из наиболее значимых составляющих операционных расходов;

2) постоянное техническое обслуживание и текущий ремонт – обычно осуществляются ежедневно, но величина их зависит от технического состояния судна;

3) экипаж, включая соответствующие расходные материалы, – как правило, у более старых судов техническое обслуживание требует больших затрат, поэтому и численность экипажа здесь несколько больше;

4) периодический ремонт – он осуществляется, когда судно подвергается достаточно дорогим (например, капитальным) ремонтам в сухих доках – размер этих расходов и периодичность их проведения зависят от технического состояния судна;

5) страхование судна – оно обычно осуществляется ежегодно, а его величина также зависит от технического состояния судна: годовые страховые ставки для старых по возрасту судов в среднем существенно выше, чем для относительно молодых³. В то же время страховые платежи пропорциональны страховой стоимости судна, которая с возрастом уменьшается;

6) портовые расходы – включают взимаемые в портах погрузки и разгрузки портовые сборы, лоцманские услуги, буксировку и др. Мы считаем, что они не зависят от состояния судна;

7) накладные (административные) расходы, относимые на время рейса данного судна, – сюда входят расходы на содержание управленческого персонала, ежегодные регистрационные платежи, услуги связи, портовых агентов и т.п. Такие расходы обычно осуществляются судовладельцем – фирмой, имеющей несколько собственных судов. При корректном расчете денежных потоков по конкретному рейсу по данной статье необходимо отразить только предельные (маргинальные) расходы, отражающие увеличение общей суммы накладных расходов при увеличении парка судов. Величина этих расходов зависит от состояния судна – с эксплуатацией более старых судов сопряжено больше проблем, требующих административного вмешательства⁴.

Однако для наших целей расходы удобнее сгруппировать иначе, с учетом их зависимости от возраста и скорости судна.

К расходам **первой** группы мы отнесем расходы на топливо и смазочные материалы в пути. Расходы на топливо в единицу времени определяются мощностью двигателей, необходимой для движения с заданной скоростью. Обычно принимается, что эта мощность пропорциональна кубу скорости судна. Коэффициент пропорциональности зависит при этом от водоизмещения,

²Так, определенные чистые выгоды близки по величине и экономическому содержанию к EBITDA (Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization – прибыль до вычета расходов по выплате процентов, налогов и начисленной амортизации).

³Поскольку расходы на страхование позволяют учесть разного рода риски, связанные с эксплуатацией судна, мы учитываем их в составе затрат даже применительно к тем судам, которые не были застрахованы владельцами.

⁴В системе финансовой отчетности это обычно не учитывается, и все накладные расходы компании распределяются между отдельными судами без учета их технического состояния.

осадки и других характеристик судна (Maanum, Seines, 2015). Некоторые авторы описывают зависимость расхода топлива от скорости иначе – например графически (Notteboom, 2006) либо степенной зависимостью с другим показателем степени⁵. Расходы на смазочные материалы принято считать пропорциональными расходам на топливо. Поэтому будем считать, что расходы на топливо (и, соответственно, все расходы первой группы) в единицу времени в пути являются некоторой возрастающей выпуклой вниз функцией $F(w)$ от скорости судна w .

Ко **второй** группе отнесем зависящие от возраста судна расходы на экипаж, расходные материалы, техническое обслуживание и ремонт (текущий и периодический), страхование, а также накладные расходы. При этом придется сделать одно важное допущение. Дело в том, что состояние судна мы описываем его возрастом, имея в виду, что с увеличением возраста оно ухудшается. Между тем это имеет место только в промежутке времени между ремонтами, тогда как после каждого периодического ремонта состояние судна улучшается. Тем не менее на протяжении срока службы судна хорошо видна общая тенденция ухудшения его состояния и прогрессивного роста затрат второй группы (Stopford, 2009). На этом основании мы условно распределим периодические расходы (включая расходы на страхование и периодический ремонт) на соответствующий период использования судна в соответствии с наблюдаемой общей тенденцией.

Расходы этой группы в единицу времени обозначим через $M(t)$ и будем считать их возрастающей функцией возраста.

К **третьей** группе отнесем портовые расходы и небольшие по величине расходы на топливо и смазочные материалы в период стоянки в портах. Эти расходы невелики и для конкретного судна зависят от продолжительности стоянок. Их величину за рейс обозначим через H .

Докажем теперь, что *на любом участке маршрута оптимальным является движение судна с одной и той же постоянной скоростью*.

Действительно, в противном случае нашлись бы два малых участка маршрута, которые судно проходит за одно и то же малое время Δ , но с разными скоростями – w' и w'' . Такие участки будут иметь протяженность $w'\Delta$ и $w''\Delta$ соответственно. Затраты третьей группы на этих участках не осуществляются, затраты второй группы одинаковы и равны $M(t)\Delta$, а затраты первой группы составляют соответственно $F(w')\Delta$ и $F(w'')\Delta$.

Пусть теперь судно проходит оба участка с одной и той же средней скоростью $w = (w' + w'') / 2$. От этого общее время прохождения обоих участков не изменится: $(w'\Delta + w''\Delta) / w = 2\Delta$, поэтому не изменятся и совокупные затраты второй группы. Зато совокупные затраты первой группы станут меньше: $2F(w)\Delta < F(w')\Delta + F(w'')\Delta$ в силу выпуклости функции $F(w)$. Поэтому в данном случае не изменится ни продолжительность рейса, ни состояние судна в конце рейса, ни валовой доход от его проведения, тогда как затраты на рейс сократятся. Это означает, что прохождение разных участков маршрута с разными скоростями будет для судовладельца нерациональным. ■

Оптимальная скорость судна, вообще говоря, может зависеть от его состояния. Поэтому для судна возраста t лет обозначим эту скорость через w_t . При такой скорости время перевозки (т.е. совокупное время передвижения между всеми портами на круговом маршруте) составит L/w_t . Обозначив через θ длительность стоянки судна в портах, получим, что общая продолжительность рейса (τ_t) составит

$$\tau_t = \theta + L / w_t. \quad (1)$$

Чистые выгоды от выполнения рейса при этом составят $B(t) = I - F(w_t)L/w_t - M(t)\tau_t - H$. Обозначим через P входящую сюда разность $I - H$ между валовым доходом от рейса и затратами третьей группы и назовем ее для краткости *судовым доходом*. Тогда выражение для чистых выгод за рейс примет вид:

$$B(t) = P - F(w_t)L/w_t - M(t)\tau_t. \quad (2)$$

⁵Подобные зависимости приведены, например: <http://www.aimuedu.org/aimupapers/4JSSIInsuranceDay2012.pdf>.

3. ФОРМАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ

Как было принято выше, длительность кругового рейса (τ_t) мы считаем малой по сравнению с годом величиной. В таком случае при дисконтировании чистых операционных выгод распределения их по времени можно не учитывать, а выгоды, получаемые в конце рейса, дисконтировать к началу рейса с помощью коэффициента $1-r\tau_t$, где r – непрерывная ставка дисконтирования.

Применив принцип дисконтирования к судну возраста t и его круговому рейсу, начинающемуся с даты оценки, мы (с точностью до малых более высокого порядка) получим

$$V(t) = B(t) + (1 - r\tau_t)V^+, \quad (3)$$

где V^+ – рыночная стоимость судна в конце рейса.

В силу сделанного ранее предположения на протяжении рейса инфляция отсутствует и зависимость стоимости судна от возраста не меняется. Поэтому, если бы судно не изменило к концу рейса своего технического состояния, его стоимость оказалась бы точно такой же, как и в начале рейса. В нашей модели состояние судна определяется его возрастом, а к моменту окончания рейса возраст судна составит $t + \tau_t$. Но тогда его стоимость V^+ будет точно такой же, как стоимость судна того же возраста на дату оценки, т.е. $V(t + \tau_t)$. В таком случае

$$V(t) = B(t) + (1 - r\tau_t)V(t + \tau_t). \quad (4)$$

Поскольку функция $V(t)$ гладкая, то при малом τ с точностью до малых более высокого порядка будет выполняться равенство $V(t + \tau) = V(t) + \tau V'(t)$. При этом производная $V'(t)$, взятая с обратным знаком, имеет смысл обесценения (экономической амортизации, depreciation) в малую единицу времени или *скорости обесценения* судна возраста t на дату оценки.

Поскольку величина τ_t мала, преобразуем теперь равенство (4) с точностью до малых более высокого порядка:

$$\begin{aligned} V(t) &= B(t) + (1 - r\tau_t)V(t + \tau_t) = B(t) + (1 - r\tau_t)[V(t) + \tau_t V'(t)] = \\ &= B(t) - [rV(t) - V'(t)]\tau_t + V(t). \end{aligned} \quad (5)$$

Отсюда вытекает, что $V'(t) - rV(t) + B(t)/\tau_t = 0$, или, с учетом (1) и (2):

$$V'(t) - rV(t) - M(t) + (Pw_t - LF(w_t)) / (L + \theta w_t) = 0. \quad (6)$$

Здесь уместно отметить важную особенность уравнения (6): все входящие в него переменные относятся к одному моменту времени – дате оценки. Поэтому оно описывает не изменение стоимости судна во времени, а зависимости стоимости судов от их возраста и скоростей, складывающиеся на дату оценки. Уравнения подобного типа ранее были приведены в (Лившиц, 1971). Позднее оказалось, что их можно применить для решения задач оценки машин и оборудования в различных ситуациях (Смоляк, 2008, 2009, 2012а, 2012б).

Учтем теперь, что уравнение (6) справедливо только в случае, когда судно возраста t лет экономически целесообразно использовать по назначению, т.е. при $t < T$, тогда как судно возраста T лет имеет скраповую стоимость U .

Решая теперь уравнение (6) с краевым условием $V(T) = U$, получаем

$$V(t) = \int_t^T e^{-r(t-s)} \left\{ \frac{Pw_s - LF(w_s)}{L + \theta w_s} - M(s) - rU \right\} ds + U. \quad (7)$$

Заметим, что оптимальным значениям скоростей w_t и предельного возраста T должны отвечать максимальные стоимости всех судов совокупности.

Нетрудно убедиться, что для судов любого возраста оптимальной будет такая скорость w , при которой выражение $[Pw - LF(w)] / (L + \theta w)$ будет наибольшим. Приравняв его производную к нулю, получим уравнение для w :

$$(L + \theta w)F'(w) - \theta F(w) = P. \quad (8)$$

Функция от w , стоящая здесь в правой части, — возрастающая, так как ее производная $(L + \theta w)F''(w) > 0$. Поэтому уравнение (8) имеет единственное решение. Будем считать, что судовые установки обеспечивают достижение соответствующей скорости. Обратим внимание, что такая скорость не зависит от возраста судна, но увеличивается с ростом судового дохода P и протяженности рейса L .

Чтобы найти оптимальное значение предельного возраста T , приравняем к нулю производную правой части равенства (7) по T . Мы получим

$$\frac{Pw - LF(w)}{L + \theta w} - M(T) = rU, \quad (9)$$

или, что то же самое, — $P - F(w)L/w - M(T)(\theta + L/w) = rU(\theta + L/w)$. Величину, стоящую здесь слева — «судовой доход» от рейса за вычетом соответствующих расходов первой и второй групп — можно трактовать как «судовую прибыль» от рейса. Из формулы (9) следует, что эта величина совпадает с упущенной выгодой от более поздней (не в начале рейса, а в конце его) утилизации судна. При этом, кстати, скорость обесценения судна предельного возраста T — нулевая:

$$V'(T) = 0. \quad (10)$$

С учетом формулы (9) выражение (7) для стоимости судна упрощается:

$$V(t) = \int_t^T e^{-r(t-s)} [M(T) - M(s)] ds + U. \quad (11)$$

Обратим внимание также на следующий любопытный факт. Рассматриваемый круговой маршрут включает и другие порты, кроме базисного. Возьмем один из них и сделаем его базисным. От этого в модели ничего не изменится, за исключением того, что величина $V(t)$ теперь будет отражать стоимость судна возраста t , готового к выходу из нового, а не старого базисного порта. Но это означает, что стоимости судов одного возраста будут одинаковыми в любых портах кругового маршрута.

Мы уже говорили, что стоимость машины можно оценить, умножая ее ВС (восстановительная стоимость) на коэффициент годности. Такие коэффициенты для разных видов машин обычно рассчитывают по данным цен продаж нескольких десятков машин разного возраста. Однако для судов этого сделать не удастся — цены однотипных судов одного возраста колеблются в достаточно широком диапазоне. Между тем построенная модель позволяет устанавливать зависимости коэффициентов годности от возраста судов и их технико-экономических характеристик.

Подчеркнем еще раз важную особенность уравнений (6)—(11). Все переменные, входящие в эти уравнения, относятся только к дате оценки. Поэтому они описывают не процесс изменения стоимости судна во времени, а зависимости стоимости судов от их возраста, складывающиеся на дату оценки.

4. ОБСУЖДЕНИЕ МОДЕЛИ

Как уже отмечалось, во многих работах оптимальные скорости судна находятся по критериям минимальных затрат или максимальной прибыли за рейс или за единицу времени. Выясним, к каким результатам это приводит.

В большинстве зарубежных работ по оптимизации скорости судна (включая и указанные в разд. 1) учитываются так называемые финансовые расходы. Их находят либо суммируя (бухгалтерскую) амортизацию судна и процент на капитал, вложенный в его приобретение, либо как

аннуитетные платежи в погашение кредита на приобретение судна. Существенно, что величина таких финансовых затрат за единицу времени (обозначим ее через A) не зависит ни от возраста судна, ни от скорости его хода.

С учетом финансовых затрат нахождение оптимальной скорости w при разных критериях сведется к следующим задачам:

– при максимизации прибыли в единицу времени –

$$\frac{Pw_t - LF(w_t)}{L + \theta w_t} - M(s) - A \rightarrow \max; \quad (12)$$

– при максимизации прибыли за рейс (этот критерий использовался, например, в (Ronen, 1982; Maanum, Seines, 2015, section 3.1.2)) –

$$P - F(w_t)L / w_t - [M(t) + A](\theta + L / w_t) \rightarrow \max. \quad (13)$$

Анализ этих задач показывает следующие результаты.

1. Критерий (12) использовался, например, в (Maanum, Seines, 2015, section 3.1.1), правда, без учета продолжительности стоянок в портах (т.е. при $\theta = 0$), что для рейсов на большие расстояния не приводит к большим ошибкам. Оптимальные по критерию (12) скорости удовлетворяют условию (8) и потому будут оптимальны и по критерию максимальной стоимости судна. Из простых и понятных финансовым аналитикам критериев этот критерий наиболее близкий принятому в данной статье. В то же время возраст судна, при котором прибыль (12) обратится в нуль, будет меньше предельного возраста T . Это объясняется тем, что, как видно из формулы (9), у судов предельного возраста «судовой доход» за единицу времени равен упущенной выгоде от утилизации судна rU , которая намного меньше амортизации и/или финансовых расходов.

2. Прибыль за рейс (13) отличается от прибыли в единицу времени умножением на длительность рейса. Но длительность рейса с ростом скорости хода уменьшается. Поэтому оптимальная по критерию (13) скорость будет меньше скорости, оптимальной по критерию (12).

3. Скорости, оптимальные по критерию (13), не зависят от валовой выручки, поэтому они одновременно будут оптимальными по критерию минимума совокупных затрат на рейс, использованному, например, в (Maanum, Seines, 2015, section 3.1.2). В то же время эти скорости растут с увеличением возраста судна и финансовых расходов A . Другими словами, для судов, приобретенных в кредит на более тяжелых условиях или более старых по возрасту, оптимальные скорости должны быть выше, чего обычно не наблюдается.

Отметим, что в (Maanum, Seines, 2015) отмечалась возможность выбора скорости движения судна с грузом по критерию максимальной прибыли, а без груза – по критерию минимума среднесуточных затрат, хотя судовладелец всегда старается исходить из единого критерия при принятии экономических решений. Там же говорилось о целесообразности включения в состав затрат вложений в перевозимый груз на время перевозки. Однако такой критерий уместен при оценках общественной, а не коммерческой эффективности (Виленский, Лившиц, Смоляк, 2015), поскольку указанные вложения осуществляет собственник товара, а не перевозчик.

Обсудим теперь основные предположения, связанные с моделью, которые выглядят предельно упрощенными и мало реалистичными.

В модели предполагалось, что судно все время осуществляет рейсы по одному и тому же круговому маршруту из базисного порта. Однако суда одного и того же типа могут перевозить грузы из базисного порта по разным круговым маршрутам. Выясним, как это повлияет на их оптимальные скорости. Для этого сравним два судна одного возраста, перевозящие грузы из базисного порта по разным круговым маршрутам. Ясно, что в модели им будут отвечать разные комбинации фрахтовой ставки, дальности перевозки и продолжительности пребывания в портах. Казалось бы, тогда в силу (8), (9) и (6) у них должны быть и разные оптимальные скорости хода, разные сроки службы и разная динамика изменения стоимости судна $V(t)$. Однако такое заключение ошибочно. В нашей модели все суда однотипные, и их стоимость определяется только возрастом.

Поэтому суда одного возраста, находящиеся в одном и том же порту, пусть и идущие по разным маршрутам, должны иметь одинаковую стоимость.

Рассмотрим теперь два аналогичных судна одинакового возраста, выполняющих рейсы по разным маршрутам. Уравнение (6) для каждого из них можно записать в виде

$$\frac{Pw - LF(w)}{L + \theta w} = M(t) - V'(t) + rV(t).$$

Правая часть здесь — одна и та же для обоих судов, а левая не зависит от их возраста. Поэтому отношение $[Pw - LF(w)] / (L + \theta w)$ на любом круговом рейсе будет одним и тем же. Более того, как было показано выше, оптимальные на каждом рейсе скорости судов w должны максимизировать это отношение, для чего должно выполняться одно и то же равенство (8): $(L + \theta w)F'(w) - \theta F(w) = P$. Это условие по существу означает согласованность фрахтовых ставок для линейных перевозок по разным маршрутам. Конечно, на практике такая согласованность не достигается, однако в стационарной экономике рыночные фрахтовые ставки колеблются вокруг своих равновесных значений.

Более серьезным является допущение об отсутствии инфляции и налогов. Разумеется, такое допущение абсолютно нереально. Тем не менее оно совершенно оправданно! Дело в том, что (Международные стандарты оценки 2011, 2013) допускают оценку имущества на основе доналоговых реальных (т.е. очищенных от влияния инфляции) денежных потоков, требуя одновременно, чтобы при этом для дисконтирования была использована доналоговая реальная ставка (Международные стандарты оценки 2011, раздел МСО 200, С23, С25). Более того, в (Смоляк, 2008, 2009) показано, что такой способ учета инфляции и налогов при корректном установлении ставки дисконтирования приводит к тождественным оценкам стоимости машин и оборудования (при этом приходится принимать, что зависимость дефлированной стоимости судов от возраста за время рейса не изменится; соответствующее доказательство в данной статье не приводится). Отметим также, что риск повреждения или гибели судна в нашей модели учтен включением в состав затрат расходов на страхование. Поэтому повторный учет соответствующих рисков не требуется, стало быть, ставка дисконтирования здесь должна приниматься безрисковой, что, по сути, отражено в Гамбургском стандарте оценки судов (Hamburg ship..., 2009).

5. ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТИ СУДНА В НЕТИПИЧНОМ РЕЙСЕ

До сих пор мы предполагали, что судно используется в типичных рыночных условиях, а судовладелец ведет себя экономически рационально. Однако нередко суда вынуждены совершать нетипичные рейсы, и мы попробуем выяснить, как при этом должна выбираться оптимальная скорость судна. В данной статье мы ограничимся случаем, когда судовладелец решает продать свое судно, перенаправив его (с грузом или без груза) в какой-то другой порт. Таким образом, речь пойдет о разовой операции, включающей осуществление рейса и продажу судна в конце рейса. Поэтому интересам судовладельца отвечает максимизация интегрального эффекта от этой операции (в (Виленский, Лившиц, Смоляк, 2015) аналогичный показатель назывался чистым дисконтированным доходом от продолжения проекта). Обозначим этот эффект через G , он определяется как сумма дисконтированных чистых выгод от совершения рейса и от продажи судна в конце рейса.

Посмотрим, при какой скорости судна в рассматриваемом рейсе эффект окажется наибольшим. При этом характеристики рассматриваемого рейса будем отмечать чертой сверху. Поэтому скорость хода судна, «судовой доход» от рейса, его протяженность и длительность будут обозначаться соответственно через $\bar{w}, \bar{P}, \bar{L}, \bar{\tau}$. Оказывается, что оптимальная скорость судна здесь существенно зависит от цены продажи судна. В связи с этим рассмотрим две ситуации.

Ситуация 1. В конце рейса судно продается по рыночной стоимости. В данной ситуации в конце рейса судно будет иметь возраст $t + \bar{\tau}$ лет и рыночную стоимость $V(t + \bar{\tau})$, а чистые выгоды от рейса, как и раньше, будут определяться формулой (2), т.е. составят $\bar{P} - F(\bar{w})\bar{L}/\bar{w} - M(t)\bar{\tau}$.

Поэтому интегральный эффект от операции будет (с точностью до малых более высокого порядка) выражаться правой частью формулы (5):

$$G = \bar{P} - F(\bar{w})\bar{L}/\bar{w} - M(t)\bar{\tau} + (1 - r\bar{\tau})V(t + \bar{\tau}) = V(t) + \bar{P} - F(\bar{w})\bar{L}/\bar{w} - \\ - M(t)\bar{\tau} - [rV(t) - V'(t)]\bar{\tau} = V(t) + \bar{P} - F(\bar{w})\bar{L}/\bar{w} - [M(t) - V'(t) + rV(t)](\theta + \bar{L}/\bar{w}).$$

Заметим, что $(Pw - LF(w))/(L + \theta w) = M(t) - V'(t) + rV(t)$ в силу (6). Это позволяет записать иначе полученное равенство:

$$G = V(t) + \bar{P} - \frac{Pw - LF(w)}{L + \theta w}\theta + \bar{L} \left\{ \frac{F(\bar{w})}{\bar{w}} + \frac{1}{\bar{w}} \cdot \frac{Pw - LF(w)}{L + \theta w} \right\}.$$

От скорости судна \bar{w} здесь зависит только выражение в фигурной скобке в правой части, не зависящее ни от протяженности рейса \bar{L} , ни от судового дохода от него \bar{P} . Поэтому оптимальная скорость судна также не зависит от этих параметров. Но тогда она не изменится, если нетипичный рейс станет типичным, т.е. одним из участков кольцевого маршрута. Отсюда следует, что оптимальная скорость судна в нетипичном рейсе (завершающемся продажей судна по рыночной стоимости) будет точно такой же — w , как и в типичном.

Ситуация 2. Стоимость V^0 судна в конце рейса задана заранее. В этом случае эффект от рейса будет иным, а именно:

$$G = B(t) + (1 - r\bar{\tau})V^0 = P + V^0 - F(\bar{w})\bar{\tau} - M(t)\bar{\tau} - r\bar{\tau}V^0.$$

От скорости судна здесь зависят только три последних члена в правой части, поэтому, учитывая формулу (1) для продолжительности рейса, оптимальная скорость судна \bar{w} должна определяться из условия

$$F(\bar{w})\bar{L}/\bar{w} + [M(t) + rV^0](\theta + \bar{L}/\bar{w}) \rightarrow \min.$$

Отсюда вытекает уравнение для оптимальной скорости

$$\bar{w}F'(\bar{w}) - F(\bar{w}) = M(t) + rV^0. \quad (14)$$

Решение этой задачи также не зависит от величины судового дохода \bar{P} , зато зависит от возраста судна и от того, по какой цене оно продается. С ростом цены оптимальная скорость увеличивается, а с ростом цены потребляемого топлива (т.е. с увеличением функции F) уменьшается. Это вполне естественно. В то же время для более старых по возрасту судов скорость должна быть выше, что требует пояснений. Дело в том, что с повышением скорости снижается приходящийся на рейс размер затрат второй группы, которые у старых судов больше, чем у более молодых.

6. ПРИМЕР РАСЧЕТА

В этом примере зависимости, определяющие затраты первой и второй групп, были приняты следующими:

$$F(w) = F_0 w^\alpha, \quad M(t) = M_0 e^{\gamma t}. \quad (15)$$

Уравнение (8) для оптимальной скорости при этом принимает вид:

$$F_0 w^{\alpha-1} [L\alpha + \theta(\alpha-1)w] = P.$$

Прежде чем задавать численные значения параметров модели, необходимо было выбрать общие единицы измерения. Мы принимаем, что время измеряется в годах или долях года, расстояния — в тысячах морских миль, стоимостные показатели — в миллионах долларов США. Обычно скорости судов измеряются в узлах (knots), но в данном расчете они измерялись в тысячах миль в год (1 узел = 1 миля/час = 8,76 тыс. миль/год).

В расчетах принимались следующие значения параметров модели, основанные на данных, полученных из разных источников, в том числе (Dai et al., 2015; Gkonis, Psaraftis, 2009; Harrison,

Figliozzi, 2001; Hiramoto, 1977; Mulder, Dekker, 2016; Notteboom, 2009; Počuča, 2006; Ronen, 1982; Stopford, 2009; Vessel Operating Cost, 2014; Zhou, 2012):

- вместимость контейнеровоза – 4000 TEU (twenty-foot equivalent unit; ДФЭ – двадцатифутовый эквивалент); использование контейнеров – 60%;
- среднегодовое число суток пребывания судна в периодических ремонтах – 20;
- протяженность кругового рейса $L=12$; число портов на маршруте – 4, время пребывания в портах за рейс – 6 сут.;
- $\alpha = 3$; расход топлива – 95 т/сут. при скорости 20 узлов; коэффициент, учитывающий расход смазочных материалов, – 1,035;
- величина расходов второй группы за единицу времени $M_0 = 6,787$ млн долл./год; темп роста расходов этой группы – $\gamma = 0,03$ (3,05% в год);
- портовые расходы за рейс (в четырех портах) – 440 тыс. долл.;
- затраты топлива за сутки пребывания в порту – 5 т.

Скраповая стоимость – $U = 4,8$ млн долл. определена исходя из водоизмещения порожнего судна $LDT = 15$ тыс. т и сложившейся на скраповом рынке цены 320 долл. на 1 т LDT.

Ставка дисконтирования (в непрерывном времени) принималась в размере $r = 0,07$ (годовая ставка – 7,25%).

Расчет проведен в двух вариантах, отличающихся тем, что цены на топливо и фрахтовые ставки в первом варианте – низкие (соответственно 300 долл./т и 450 долл./TEU), а во втором варианте – более высокие (соответственно 500 долл./т и 550 долл./TEU).

Для сравнения проводились расчеты, в которых скорость судна выбиралась по критерию (13) максимальной прибыли за рейс. В состав затрат при этом включались финансовые затраты, определенные как произведение восстановительной стоимости судна $V(0)$ на ипотечный коэффициент $r / (1 - e^{-rT})$.

В нашем случае для судна возраста t лет, идущего со скоростью w , прибыль за рейс составит

$$P - LF_0 w^2 - \left[M_0 e^{\gamma t} + \frac{rV(0)}{1 - e^{-rT}} \right] \left(\theta + \frac{L}{w} \right).$$

Максимальная прибыль при этом достигается при скорости

$$w_t = \left\{ \frac{1}{2F_0} \left[M_0 e^{\gamma t} + \frac{rV(0)}{1 - e^{-rT}} \right] \right\}^{1/3}$$

и оказывается равной $P - 3LF_0 w_t^2 - 2\theta F_0 w_t^3$. Предельный возраст судов T при этом будет таким, при котором эта прибыль станет нулевой. Стоимости судов разного возраста теперь можно рассчитать по формуле (7):

$$V(t) = \int_t^T e^{-r(t-s)} \left\{ \frac{Pw_s - LF(w_s)}{L + \theta w_s} - M(s) - rU \right\} ds + U.$$

Полученные в результате расчетов основные характеристики судов представлены в таблице и на рис. 1–5.

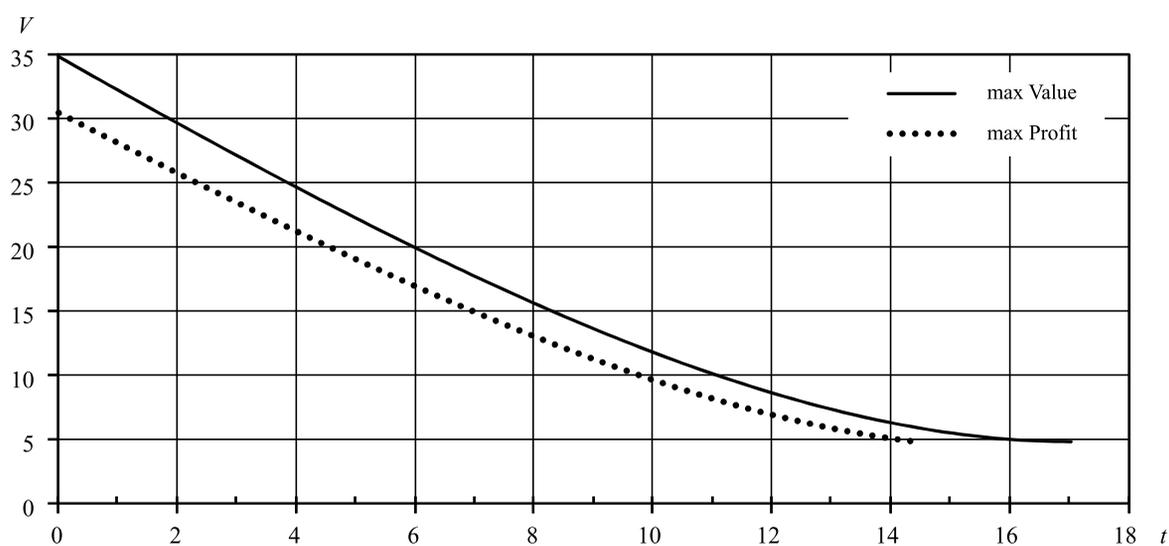
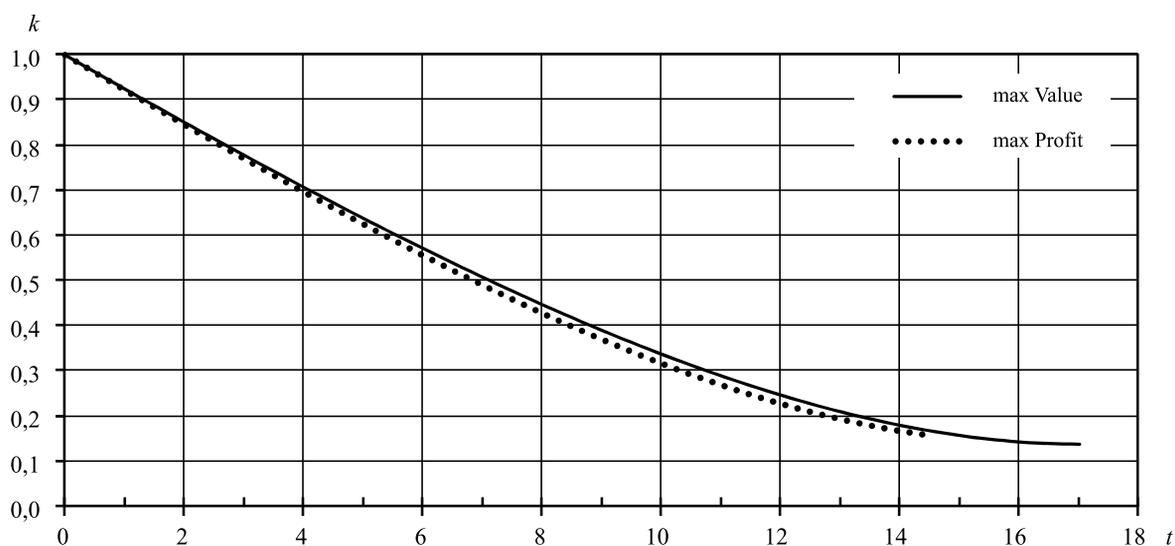
Как видим, снижение цены топлива и фрахтовых ставок ведет к значимому уменьшению стоимости судов и их предельного возраста (соответственно, должны сократиться и сроки службы судов и вырасти объемы их утилизации, что в 2015–2016 гг. и наблюдается).

Скорости судов, максимизирующие прибыль за рейс, с увеличением возраста росли от 14,6 до 16,5 узлов в первом варианте и от 12,2 до 14,6 узлов во втором варианте. Восстановительная стоимость судов при этом в обоих вариантах оказалась меньше примерно на 12%, так что такое использование судов не является наиболее эффективным.

В заключение хотелось бы выразить искреннюю благодарность сертифицированному сюрвейеру А.Д. Юнитеру за его ценные советы и предоставленную информацию.

Таблица. Результаты расчетов основных характеристик судна

Характеристики судов	Вариант 1	Вариант 2
При оптимизации по критерию максимальной стоимости судна		
Оптимальная скорость, узлы	16,5	14,6
Предельный возраст, годы	17,0	21,5
Восстановительная стоимость $V(0)$, млн долл.	34,8	52,9
При оптимизации по критерию максимальной прибыли за рейс		
Предельный возраст, годы	14,4	19,5
Восстановительная стоимость $V(0)$, млн долл.	30,5	46,9

Рис. 1. Вариант 1. Зависимость рыночной стоимости судов от возраста при скорости хода, оптимальной по критериям максимальной стоимости (max Value) и максимальной прибыли за рейс (max Profit)Рис. 2. Вариант 1. Зависимость коэффициента годности судов от возраста при скорости хода, оптимальной по критериям максимальной стоимости (max Value) и максимальной прибыли за рейс (max Profit)

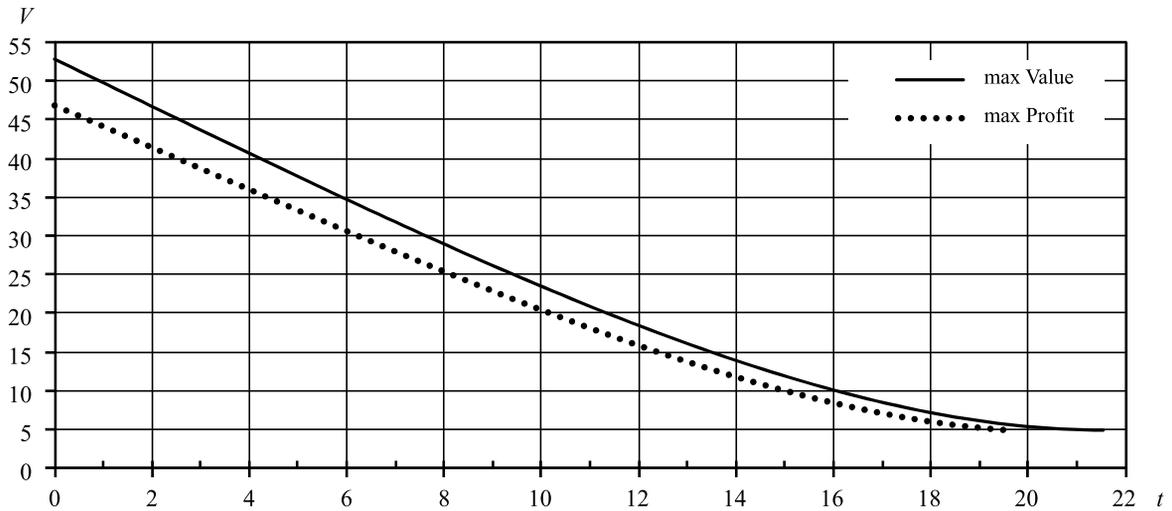


Рис. 3. Вариант 2. Зависимость рыночной стоимости судов от возраста при скорости хода, оптимальной по критериям максимальной стоимости (*max Value*) и максимальной прибыли за рейс (*max Profit*)

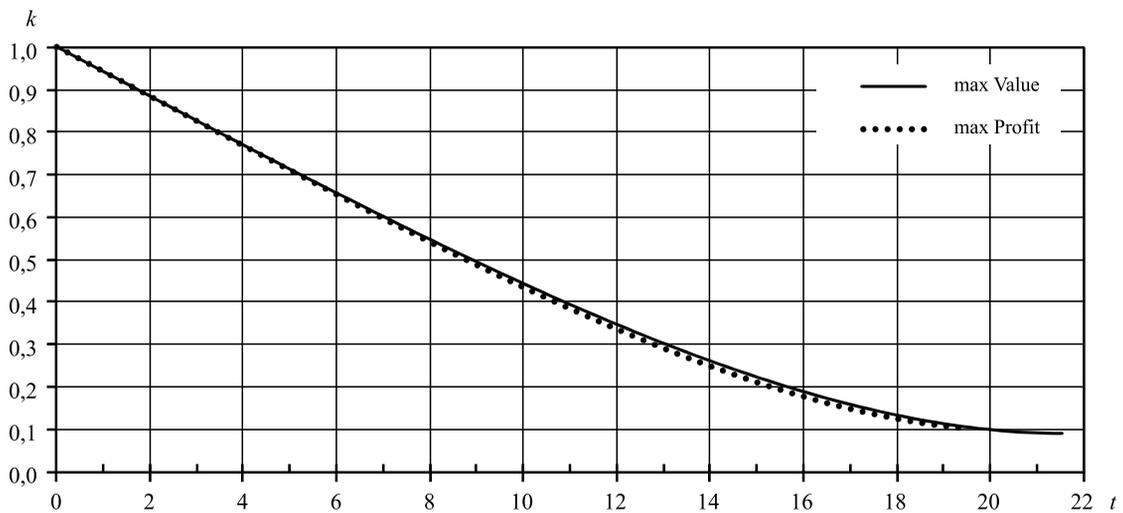


Рис. 4. Вариант 2. Зависимость коэффициента годности судов от возраста при скорости хода, оптимальной по критериям максимальной стоимости (*max Value*) и максимальной прибыли за рейс (*max Profit*)

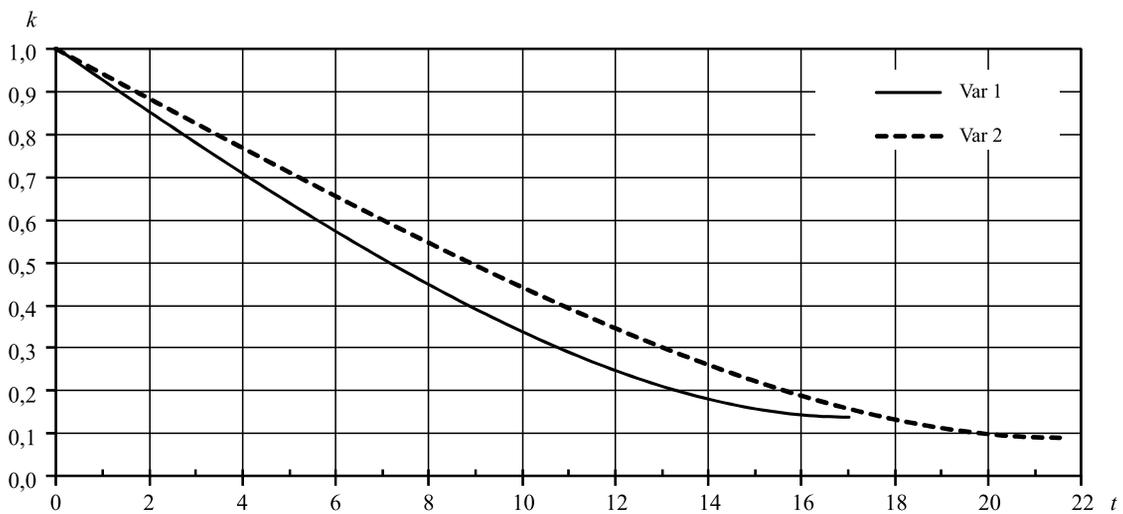


Рис. 5. Зависимость коэффициента годности судов от возраста в вариантах 1 и 2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буянов А.И.** (1938). Определение оптимальных сроков службы деталей и машин // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. № 12. С. 16–20.
- Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.** (2015). Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. М.: Поли Принт Сервис.
- Гибшман А.Е.** (1963). Определение целесообразного срока службы локомотивов // *Вестник ЦНИИ МПС*. № 1. С. 3–8.
- Гибшман А.Е.** (1984). Определение экономической эффективности проектных решений на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт.
- Канторер С.Е.** (1963). Определение оптимального срока службы строительных машин // *Механизация строительства*. № 7.
- Козин Б.С., Козлов И.Т.** (1964). Выбор схем этапного развития железнодорожных линий. М.: Трансжелдориздат.
- Колегаев Р.Н.** (1967). Определение оптимальной долговечности технических систем. М.: Советское радио.
- Лившиц В.Н.** (1971). Выбор оптимальных решений в технико-экономических расчетах. М.: Экономика.
- Лившиц В.Н., Смоляк С.А.** (1973). Математическое моделирование процессов амортизации основных фондов // *Труды ИКТП*. № 36. С. 136–165.
- Луговой П., Цыпин Л.Г., Аукуционек Р.А.** (1973). Основы технико-экономических расчетов на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт.
- Лурье А.Л.** (1973). Экономический анализ моделей планирования социалистического хозяйства. М.: Наука.
- Массе П.** (1971). Критерии и методы оптимального определения капиталовложений. М.: Статистика.
- Международные стандарты оценки 2011 (2013). Международный совет по стандартам оценки. М.: Российское общество оценщиков.
- Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений (1977). М.: Экономика.
- Микерин Г.И., Смоляк С.А.** (2010). Оценка эффективности инвестиционных проектов и стоимостная оценка имущества: возможности конвергенции. М.: ЦЭМИ РАН.
- Палкин Р.И.** (1964). Об экономических сроках службы строительных машин // *Строительные и дорожные машины*. № 7.
- Пейсахзон Б.Э.** (1952). Вопросы эксплуатации электрических железных дорог. М.: Трансжелдориздат.
- Протодяконов М.М.** (1934). Изыскания и проектирование железных дорог. М.: Трансжелдориздат.
- Смоляк С.А.** (2008). Проблемы и парадоксы оценки машин и оборудования. М.: РИО МАОК.
- Смоляк С.А.** (2009). Эргодические модели износа машин и оборудования // *Экономика и математические методы*. Т. 45. № 4. С. 42–60.
- Смоляк С.А.** (2012а). Стохастическая модель износа машин // *Экономика и математические методы*. Т. 48. № 1. С. 56–66.
- Смоляк С.А.** (2012б). Оценка рыночной стоимости машин, подвергающихся капитальному ремонту // *Экономика и математические методы*. Т. 48. № 4. С. 66–79.
- Смоляк С.А.** (2013). Оценка рыночной стоимости машин с учетом устранимого и неустраимого износа // *Экономика и математические методы*. Т. 49. № 1. С. 54–72.
- Смоляк С.А.** (2014). Оптимизация ремонтной политики и оценка стоимости машин с учетом их надежности // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 2. С. 102–131.
- Смоляк С.А., Филимонов В.В.** (1975). Проблемы оптимизации воспроизводства машинного парка. Труды Шестой зимней школы по математическому программированию и смежным вопросам. М.: ЦЭМИ АН СССР. С. 209–228.
- Справочник оценщика машин и оборудования (2015). Нижний Новгород: Приволжский центр методического и информационного обеспечения оценки.
- Ступин О.К., Лимонов З.Л.** (1973). Экономическое обоснование при проектировании морских грузовых судов. Ленинград: Судостроение.

- Черномордик Г.И.** (1948). Техничко-экономическое обоснование норм проектирования новых железных дорог. М.: Трансжелдориздат.
- Assessors' Handbook Section 581 (2016). California State Board of Equalization. [Электронный ресурс] Equipment and Fixtures Index, Percent Good and Valuation Factors. Retrieved January 4. Режим доступа: <http://www.boe.ca.gov/proptaxes/pdf/ah58116.pdf>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: ноябрь 2016 г.).
- Dai W.L., Fu X., Yip T.L., Hu H., Wang K.** (2015). Emission Charge and Liner Shipping Network Configuration – an Economic Investigation of the Asia-Europe Route. Working Paper ITLS WP-15–23. Sidney: The University of Sidney.
- Gkonis K.G., Psaraftis H.N.** (2009). Some Key Variables Affecting Liner Shipping Costs. Working Paper. Athens: National Technical University of Athens.
- Gudehus H.** (1963). Über die optimale Geschwindigkeit von Handelsschiffen // *Hansa*. Vol. 15. No. 23. P. 2387–2391.
- Gudehus T.** (2010a). Die kostenoptimale Geschwindigkeit von Frachtschiffen // *Schiff & Hafen*. Vol. 62. No. 5. P. 12–16.
- Gudehus T.** (2010b). Gewinnoptimale Schiffsgeschwindigkeit und strategische Flottenplanung // *Schiff & Hafen*. Vol. 62. No. 6. P. 12–17.
- Hamburg Ship Evaluation Standards (HSES) (2009). (The Long Term Asset Value, LTAV). (n.d.). [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: http://www.vhss.de/fileadmin/Resources/Public/downloads/Erlaeuterungen_LTAV_20091222.pdf, свободный. Загл. с экрана. Яз. нем. (дата обращения: декабрь 2016 г.).
- Harrison R., Figliozzi M.** (2001). Impacts of Containership Size, Service Routes, and Demand of Texas Gulf ports. Austin, Texas: Center for Transportation Research, The University Texas at Austine.
- Hiramoto F.** (1972). Ship Maintenance and Repair Costs Versus Age. The Department of naval architecture and marine engineering. Anna-Arbor: The University of Michigan.
- Maanum M.O., Seines H.P.** (2015). Determinants of Vessel Speed in the VLCC Market – Theory vs. Practice. Bergen: Norges Handelshøyskole.
- Mulder J., Dekker R.** (2016). Optimization in Container Liner Shipping. Econometric Institute Report 2016-05. Rotterdam: Erasmus University.
- Notteboom T.E.** (2009). The Effect of high Fuel Costs on Liner Service Configuration in Container Shipping // *Journal of Transport Geography*. Vol. 17. P. 325–337.
- Notteboom T.E.** (2006). The Time Factor in Liner Shipping Services // *Maritime Economics and Logistics*. Vol. 8. No. 1. P. 19–39.
- Papadakis N.A., Perakis A.N.** (1989). A Nonlinear Approach to the Multiorigin, Multidestination Fleet Deployment Problem // *Naval Research Logistics*. Vol. 36. P. 515–528.
- Počuča M.** (2006). Methodology of Day-To-Day Ship Costs Assessment // *PROMET – Traffic & Transportation*. Vol. 18. No. 5. P. 337–345.
- Ronen D.** (1982). The Effect of Oil Price on the Optimal Speed of Ships // *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 33. No. 11. P. 1035–1040.
- Stopford M.** (2009). Maritime Economics. London, New York: Routledge.
- Terborgh G.** (1948). Dynamic Equipment Policy. New York: McGraw-Hill.
- Vessel Operating Cost Savings at Terminal 46 (2014). Commercial Strategy Department, Port of Seattle.
- Zhou K.** (2012). Optimization of Container Liner Speed and Deployment Based on New Environment and Bunkering Regulation. University Park: The Pennsylvania State University.

Поступила в редакцию
12.07.2016 г.

REFERENCES (with English translation or transliteration)

- Assessors' Handbook Section 581 (2016). California State Board of Equalization. Equipment and Fixtures Index, Percent Good and Valuation Factors. Retrieved January 4. Available at: <http://www.boe.ca.gov/proptaxes/pdf/ah58116.pdf> (accessed: November 2016).

- Buyanov A.I.** (1938). Determination of the Optimal Service Life of Parts and Machines. *Meckhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo hozyaystva* 12, 16–20 (in Russian).
- Cantor S.E.** (1963). Determining Optimal Device Life of Construction Equipment. *Meckhanizatsiya stroitelstva*, 7 (in Russian).
- Chernomordyk G.I.** (1948). Feasibility Study for Design Standards of new Railways. Moscow: Transzheldorizdat (in Russian).
- Dai W.L., Fu X., Yip T.L., Hu H., Wang K.** (2015). Emission Charge and Liner Shipping Network Configuration – an Economic Investigation of the Asia-Europe Route. Working Paper ITLS WP-15-23. Sidney: The University of Sidney.
- Gibshman A.E.** (1963). Determining Appropriate Service Life of Locomotives. *Vestnik CNII MPS*, 1 (in Russian).
- Gibshman A.E.** (1984). Determining of Economic Efficiency of Design Solutions in the Railway Transport. Moscow: Transport (in Russian).
- Gkonis K.G., Psarafitis H.N.** (2009). Some Key Variables Affecting Liner Shipping Costs. Working Paper. Athens: National Technical University of Athens.
- Gudehus H.** (1963). Über die optimale Geschwindigkeit von Handelsschiffen. *Hansa* 15, 23, 2387–2391.
- Gudehus T.** (2010a). Die kostenoptimale Geschwindigkeit von Frachtschiffen. *Schiff & Hafen* 62, 5, 12–16.
- Gudehus T.** (2010b). Gewinnoptimale Schiffsgeschwindigkeit und strategische Flottenplanung. *Schiff & Hafen* 62, 6, 12–17.
- Hamburg Ship Evaluation Standard (2016). (The Long Term Asset Value, LTAV). (n.d.). Available at: <http://www.vhss.de/index.php?id=12&L=1> (accessed: November 2016).
- Harrison R., Figliozzi M.** (2001). Impacts of Containership Size, Service Routes, and Demand of Texas Gulf ports. Austin, Texas: Center for Transportation Research, The University Texas at Austin.
- Hiramoto F.** (1977). Ship Maintenance and Repair Costs Versus Age. The Department of naval architecture and marine engineering. Anna Arbor: The University of Michigan.
- International Valuation Standards Council 2011 (2013). International Valuation Standards Committee. (G.I. Mikerin, I.L. Artemenkov (trans.)) Moscow: Rossiyskoe obshchestvo otsenshchikov (in Russian).
- Kolegayev R.N.** (1967). Determining the Optimal Durability of Technical Systems. Moscow: Sovetskoe radio (in Russian).
- Kozin B.S., Kozlov I.T.** (1964). The Choice of Schemes of Staged Development of Railway Lines. Moscow: Transzheldorizdat (in Russian).
- Livchits V.N.** (1971). The Choice of Optimal Solutions in the Feasibility Design Calculations. Moscow: Ekonomika (in Russian).
- Livchits V.N., Smolyak S.A.** (1973). Mathematical Modeling of the Processes of Depreciation of Fixed Assets. *Trudy ICTP*, 36, 136–165 (in Russian).
- Lugovoy P., Tsybin L.G., Aukutsionek R.A.** (1973). The Basis of Technical and Economic Design Calculations in the Railway Transport. Moscow: Transport (in Russian).
- Lurye A.L.** (1973). Economic Analysis of the Socialist Economy Planning Models. Moscow: Nauka (in Russian).
- Maanum M.O., Seines H.P.** (2015). Determinants of Vessel Speed in the VLCC Market – Theory vs. Practice. Bergen: Norges Handelshøyskole.
- Massé P.** (1971). Le choix des investissements. Critères et méthodes. Paris: Dunod.
- Methodology (basic provisions) of Estimation of National Economic Efficiency of the New Equipment, Inventions and Innovations (1977). Moscow: Ekonomika (in Russian).
- Mikerin G.I., Smolyak S.A.** (2010). Efficiency Assessment of Investment Projects and Property Valuation: Opportunities for Convergence. Moscow: CEMI RAS (in Russian).
- Mulder J., Dekker R.** (2016). Optimization in Container Liner Shipping. Econometric Institute Report 2016–05. Rotterdam: Erasmus University.
- Notteboom T.E.** (2006). The Time Factor in Liner Shipping Services. *Maritime Economics and Logistics* 8, 1, 19–39.
- Notteboom T.E.** (2009). The Effect of high Fuel Costs on Liner Service Configuration in Container Shipping. *Journal of Transport Geography* 17, 325–337.

- Palkin R.I.** (1964). On the Economic Service Life of Construction Equipment. *Stroitelniye i dorozhniye mashiny*, 7 (in Russian).
- Papadakis N.A., Perakis A.N.** (1989). A Nonlinear Approach to the Multiorigin, Multidestination Fleet Deployment Problem. *Naval Research Logistics* 36, 515–528.
- Peysakhzon B.E.** (1952). Problems of Operation of Electric Railways. Moscow: Transzheldorizdat (in Russian).
- Počuča M.** (2006). Methodology of Day-To-Day Ship Costs Assessment. *PROMET – Traffic & Transportation* 18, 5, 337–345.
- Protodyakonov M.M.** (1934). Research and Designing of Railways. Moscow: Transzheldorizdat (in Russian).
- Ronen D.** (1982). The Effect of Oil Price on the Optimal Speed of Ships. *Journal of the Operational Research Society* 33, 11, 1035–1040.
- Smolyak S.A.** (2008). Problems and Paradoxes in Machines and Equipmen Valuation. Moscow: RIO MAOK (in Russian).
- Smolyak S.A.** (2009). Ergodic Models of Depreciation of Machinery and Equipment. *Economics and Mathematical Methods* 45(4), 42–60 (in Russian).
- Smolyak S.A.** (2012a). Machinery and Equipment Depreciation Stochastic Model. *Economics and Mathematical Methods* 48, 1, 56–66 (in Russian).
- Smolyak S.A.** (2012b). Valuation of Equipment Undergoing an Overhaul. *Economics and Mathematical Methods* 48, 4, 66–79 (in Russian).
- Smolyak S.A.** (2013). Valuation of Machines and Equipment in Curable and Curable Depreciation. *Economics and Mathematical Methods* 49, 1, 54–72 (in Russian).
- Smolyak S.A.** (2014). Overhaul Policy Optimization and Equipment Appraisals Concerning Its Reliability. *Journal of the New Economic Association* 2, 102–131(in Russian).
- Smolyak S.A., Filimonov V.V.** (1975). Problems of Machinery and Equipment Reproduction Optimization. *Trudy 6 zimney shkoly po matematicheskomu programirovaniyu i smezhnym voprosam* Moscow: CEMI USSR Academy of Science, 209–228 (in Russian).
- Spravochnik otsenshchika mashin i oborudovaniya* (2015). Nizhnii Novgorod: Privolzhskii tsentr metodicheskogo i informatsionnogo obespecheniya otsenki (in Russian).
- Stopford M.** (2009). Maritime Economics. London, New York: Routledge.
- Stupin O.K., Limonov Z.L.** (1973). Feasibility Study for Sea Cargo Ships. Leningrad: Sudostroyeniye.
- Terborgh G.** (1948). Dynamic Equipment Policy. New York: McGraw-Hill.
- Vessel Operating Cost Savings at Terminal 46 (2014). Commercial Strategy Department, Port of Seattle.
- Vilensky P.L., Livchits V.N., Smolyak S.A.** (2015). Investment Project Assessment: Theory and Practice. Moscow: Poli Print Servis (in Russian).
- Zhou K.** (2012). Optimization of Container Liner Speed and Deployment Based on New Environment and Bunkering Regulation. University Park: The Pennsylvania State University.

Received 12.07.2016

REGULAR OCEANGOING CARGO SHIP SPEED OPTIMIZATION

S.A. Smolyakⁱ

Abstract. We propose a model for choosing the most efficient speed of oceangoing freight ships carrying linear commercial voyages. The model takes into account the influence of age and speed of ship for different types of shipping costs. It is based on two principles: 1) the value of property does not exceed the sum of discounted benefits of its use for a small period of time and the value of the same property in the end of the period, and coincides with that sum at the most efficient use of the property. Therefore, the most efficient speed is such a speed at which the market value of ship is maximized; 2) if on the

ⁱ**Sergei A. Smolyak** – Doct. Sc. (Economics), Principal scientific researcher, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; smolyak1@yandex.ru.

valuation date and in a period prior to the dependence on value of the objects of their characteristics (e.g. age) has been established it would be valid in a small period after valuation date. The paper also includes an analysis of other criteria to optimize the ship's speed which are offered in the literature.

Keywords: cargo ship, linear voyage, speed, age, voyage costs, operating costs, valuation, market value, depreciation, optimization criteria.

JEL Classification: C51, D24, D46, L21.