

Кирилл  
**Ильинский**  
Максим  
**Був**

# В ЗЕРКАЛЕ **СУПЕР** МОДЕЛЕЙ

РАССКАЗЫ О МОДЕЛЯХ В ФИНАНСОВОЙ  
ЭКОНОМИКЕ С ПРИМЕРАМИ, ИСТОРИЯМИ  
И ЛИРИЧЕСКИМИ ОТСТУПЛЕНИЯМИ

Книга 1

МОДЕЛИ  
ДЛЯ ВЗРОСЛЫХ

МОСКВА НАУКА 2020

УДК 336  
ББК 65.26  
И46

Иллюстрации выполнены *К.Н. Ильинским* и *М.В. Бувевым*  
Дизайн переплета — *А.Е. Марковой*  
Фотография К.Н. Ильинского — *С.С. Разумовской*  
Фотография М.В. Буева — *В.В. Бурмейстера*

**Ильинский К.Н., Буев М.В.**

**В зеркале супермоделей. Рассказы о моделях в финансовой экономике с примерами, историями и лирическими отступлениями :** В 2 кн. / К.Н. Ильинский, М.В. Буев. — М. : Наука, 2020 — . — ISBN 978-5-02-040253-9

**Кн. 1. Модели для взрослых.** — 2020. — 471 с. — ISBN 978-5-02-040251-5

«В зеркале супермоделей» это издание из двух книг о том, как на самом деле используются теоретические модели в реальных финансах. Читатель узнает, как стать гораздо более продуктивным и успешным, если смотреть на финансовый мир с разных точек зрения через призму моделей. А еще это — своеобразный «теорминимум» для тех, кто серьезно решил посвятить себя работе в финансовой индустрии. Книга «Модели для взрослых» рассказывает о практической стороне финансового моделирования. На примерах известных «хороших моделей» для главных классов активов авторы закладывают фундамент модельной грамотности. Читатель овладеет языком финансовых производных — основой для описания нелинейности и случайности, увидит в действии базовые принципы построения моделей и узнает как рационально описывать иррациональных игроков. Книга «Красавицы со сложностями» посвящена практическому использованию конкретных количественных моделей — от анализа доходностей и задачи аллокации активов до торговых стратегий и моделирования экономических рисков корпораций. В новом свете читатель увидит арбитраж, «человеческий фактор» при использовании математических моделей, неравновесную динамику и моделирование рыночных «цунами».

Для широкого круга читателей, интересующихся экономикой и финансами.

ISBN 978-5-02-040253-9

ISBN 978-5-02-040251-5 (кн. 1)

© Ильинский К.Н., Буев М.В., 2020

© ФГУП Издательство «Наука», редакционно-издательское оформление, 2020

# Оглавление

<b>Предисловие к русскому изданию</b> .....	9
Догоняя, «почти» .....	9
<b>К читателю</b> .....	11
Литература .....	13
<b>Книга 1. Модели для взрослых</b> .....	14
<b>С птичьего полета</b> .....	14
Введение: Мир через призму моделей .....	14
«Хорошие» модели .....	14
Моделируя модели, или <i>The Next «Next Model»</i> .....	14
Модели как есть или как надо? Рыночные или структурные модели .....	15
Финансовый Хоббит: от кредита к акциям и обратно. Модели структуры капитала.....	15
Зачем торговать на эффективном рынке? Модели эффективности и предсказуемость .....	16
Ночной дозор: как сознательно учесть бессознательное .....	16
Мир глазами опционного трейдера: оси риска .....	16
Мир глазами опционного трейдера: 10 примеров из жизни.....	16
<b>Введение: Мир через призму моделей</b> .....	17
<b>Глава 1. «Хорошие» модели</b> .....	17
Нам всем нужны модели.....	21
Модели экономические и модели финансовые .....	22
Про важные вещи .....	23
Лирическое отступление: люди и модели .....	24
Какие модели — «хорошие» .....	26
Множественность цены .....	29
Нетривиальная динамика сидит в нелинейности .....	30
Моделируем динамику: описание цен в терминах плотностей .....	35
Уравнения ценообразования как уравнения обмена .....	39
Стохастическая динамика, история, Броун и все-все-все .....	43
Калибровка к рынку. Хеджирование .....	46
Волатильность — единственный свободный параметр в модели БШ .....	49
Модель локальной волатильности — хорошая модель .....	51
Вместо заключения: пишите проще! .....	58
Комментарии и ссылки для дальнейшего чтения .....	61
Литература .....	64
<b>Глава 2. Моделируя модели или <i>The Next «Next Model»</i></b> .....	66
У хорошей модели параметры содержательны .....	67
Как случайная волатильность влияет на цену .....	67
Почему существует скью? Индикаторы риска .....	77
Еще, еще и еще раз о торговле волатильностью .....	80
Вмененная волатильность как ожидание взвешенной реализованной волатильности .....	87
Вега- <i>P&amp;L</i> как реализация будущего гамма- <i>P&amp;L</i> .....	90
Чувствительности: интуиция и уравнения .....	95
Модели случайной волатильности .....	98

Именные модели .....	109
Модели стохастической волатильности и параметризации поверхности волатильности .....	111
<i>dVega (Volga-Vanna)</i> – простейшая «рыночная» модель, учитывающая стохастичность волатильности .....	119
Лирическое заключение. Модель торговли и торговля моделью? .....	124
Комментарии и ссылки для дальнейшего чтения .....	127
Литература .....	130
<b>Глава 3. Модели: как есть или как надо? Рыночные или структурные модели .....</b>	<b>134</b>
Разница между структурными и рыночными моделями .....	135
Структурные модели это модели фундаментального ценообразования .....	135
Аналогия между динамикой процентных ставок и вмененной волатильностью .....	136
Инструменты с фиксированной доходностью. Основные понятия. Форвардная кривая .....	140
Виды форвардных кривых и их динамика .....	145
Пример структурной <i>IR</i> -модели: модель Лонгстаффа–Шварца (1992). Связь с макроэкономической картиной .....	146
Пример рыночной <i>IR</i> -модели: <i>HJM</i> .....	152
Вывод-редукция именных моделей .....	156
Много ли надо факторов/параметров? .....	157
Локальные параметры. Мембраны и струны .....	158
Струнная модель форвардной кривой. Интуиция, картинки и малый параметр .....	159
Модель <i>LIBOR</i> /своп-рынка .....	161
Рыночная модель Дермана – Кани поверхности локальной волатильности .....	162
Модель мембраны для поверхности волатильности – обобщение струнной модели .....	166
Стандартная модель стохастической локальной волатильности .....	168
В итоге .....	172
Комментарии и ссылки для дальнейшего чтения .....	172
Литература .....	172
<b>Глава 4. Финансовый Хоббит: от кредита к акциям и обратно. Модели структуры капитала .....</b>	<b>178</b>
Модели как мост между разными классами активов .....	178
Кредитные инструменты: основные понятия и аналогия с моделированием процентных ставок .....	179
Кредитные деривативы и торговля риском дефолта .....	184
Стандартная модель оценки <i>CDS</i> .....	187
Некоторые особенности торговли кредитными деривативами .....	189
Разные спреды, базисный арбитраж и все-все-все .....	194
Структура капитала компании .....	197
Структурная модель кредита: модель Мертона (1974) .....	199
Модели <i>CreditGrades</i> и <i>KMV</i> .....	202
Кредитный риск-реверсал – рыночная модель для кредитных производных .....	207
Приложение к портфельному хеджированию .....	216
В исторической перспективе .....	221
Когда модели не работают? .....	222
Связь микроструктуры рынка и макроэкономических переменных .....	223
Комментарии и ссылки для дальнейшего чтения .....	224
Литература .....	226

<b>Глава 5. Зачем торговать на эффективном рынке? Модели эффективности и предсказуемость</b> .....	228
Предсказуемость и эффективность .....	228
Бинарное хеджирование — влияние предсказуемости на цену опционов ...	229
Подготовительный шаг — моделирование цен на деревьях .....	232
Вывод решения уравнения Блэка — Шоулза через бинарное хеджирование ..	235
Мультифрактальность. Мотивация и определения .....	239
Фрактальность статистическая и геометрическая .....	240
Связь между мультифрактальностью статистической и геометрической.	
Теорема Паризи — Фриша .....	242
Типы мультифракталов. Восстановление процессов .....	243
Локальная предсказуемость .....	245
Как находить фрактальные экспоненты? Вейвлеты .....	246
О масштабах и о ремесле .....	249
Эффективность и динамика. Вопрос об устойчивости .....	250
Масштаб времени и устойчивость. Свободный рынок не устойчив в случае медленной арбитражной/релаксационной динамики .....	251
Как экономисты видят эффективный рынок .....	253
Эффективный рынок и технический анализ. Диаграмма модель/процесс ....	254
Тестирование эффективности .....	256
Практические следствия выбора парадигмы эффективности .....	258
Эффективный рынок как элемент либеральной идеологии .....	261
Вместо заключения: устойчивость как обратная сторона предсказуемости ...	264
Комментарии и ссылки для дальнейшего чтения .....	268
Литература .....	270
Приложение .....	274
 <b>Глава 6. Ночной Дозор: как сознательно учесть бессознательное</b> .....	276
Моделируем принятие решений — рациональных и нерациональных ...	277
Часть 1. Рациональный выбор .....	278
Модель выбора через функции полезности .....	278
Выбор в условиях неопределенности .....	281
Нерациональность и арбитраж: лирическое отступление с примерами из жизни .....	285
Теорема о существовании функции полезности .....	287
Субъективные вероятности .....	288
Окно в реальность — как не работает теория .....	289
Как заставить себя рисковать .....	291
Часть 2. Эволюционная точка зрения на принятие решений .....	296
Триединая теория .....	296
Как мы устроены — карта .....	298
Страх. Амигдала. В городах надо больше дружить .....	301
Эмоциональное состояние влияет на понимание риска — зачем нужны симпатичные девушки-секретари .....	303
Фрейминг. Асимметрия потерь и дохода .....	304
Сожаление — оптимизатор и тормоз .....	306
Сюрприз .....	307
Кадет. Каузация. Опять пари Паскаля .....	309
Фактор удачи — история о везении .....	310
Фокусы с памятью .....	315
«Угадайка», или почему человеку противопоказано торговать опционами	317
Биология технического анализа .....	319

Почему нам так нравится угадывать? .....	321
Биомеханика финансовых пирамид .....	322
Уравнение баланса .....	323
Теория перспектив – поведенческая модель принятия решений .....	324
Заключение – Ночной Дозор .....	328
Комментарии и ссылки для дальнейшего чтения .....	329
Литература .....	333
<b>Глава 7. Мир глазами опционного трейдера: оси риска .....</b>	<b>335</b>
Всё – производные финансовые инструменты .....	335
Гамма – ось риска .....	336
Вариационный своп и его ценообразование .....	340
Торговля вар-свопом как выражение взгляда на гамма-риск .....	346
Гамма- <i>P&amp;L</i> : почему все продают гамму? .....	349
Временная структура волатильности как следствие продажи гаммы .....	351
Вега-риск: <i>mark-to-market</i> риск будущей гаммы .....	353
Публичный хедж не работает .....	354
Риск прыжка. Скью-риск .....	356
Поверхность вмененной волатильности как выражение цены на осях риска .....	361
Комментарии и ссылки для дальнейшего чтения .....	361
Литература .....	362
<b>Глава 8. Мир глазами опционного трейдера: 10 примеров из жизни .....</b>	<b>364</b>
Пример 1. Продукт с сохранением капитала, когда нельзя «защитить» внутри ванильный опцион. Опцион <i>Target Vol</i> как пример удешевления продукта за счет скрытой продажи гаммы .....	365
Пример 2. Продукты с сохранением капитала, когда нельзя «защитить» внутри ванильный опцион: <i>CPPI</i> и <i>SPI</i> .....	367
Пример 3. <i>CTA</i> -стратегии и технический анализ .....	371
Пример 4. Торговля <i>CDS</i> -кривой .....	373
Пример 5. Кредитный базис .....	379
Пример 6. Торговля портфелем облигаций .....	380
Пример 7. Оптимизация инвестиционного портфеля .....	382
Пример 8. Оптимизация структуры капитала компании .....	390
Пример 9. Хеджирование экспортеров и экономический риск .....	393
Пример 10. Вознаграждение управляющих как раздача бесплатных колл- опционов: системный риск и фундаментальная проблема неустойчивости системы .....	397
Заключение .....	407
Комментарии и ссылки для дальнейшего чтения .....	408
Литература .....	410
<b>Заключение .....</b>	<b>413</b>
Литература .....	415
<b>Тезаурус .....</b>	<b>416</b>
<b>Критерии «хорошей» модели .....</b>	<b>453</b>
<b>Важные вещи .....</b>	<b>454</b>
<b>Индекс .....</b>	<b>455</b>

# Книга 1. Модели для взрослых

## С птичьего полета

### Введение: Мир через призму моделей

Все задачи, с которыми сталкиваешься в реальной жизни, как правило, нелинейны и содержат элемент случайности. Чтобы правильно их решать, нужно строить модели, сложные и специфические. Картина становится еще более запутанной, если результат моделируемых процессов зависит от решений людей. К счастью, есть выход. Есть финансовые модели хорошо продуманные и проработанные. Эти модели в упрощенном и обобщенном виде описывают человеческое поведение. Причем поведение в ситуации неопределенности, когда итоговый результат зависит от нашего окружения и выбора неочевидным образом, т.е. нелинейно. Используя язык производных финансовых инструментов, можно по-новому взглянуть на широкий круг проблем, казалось бы, далеких от Уолл-стрит. В этом мы опираемся на опыт, накопленный в финансовой экономике и индустрии за последние полвека.

### «Хорошие» модели

В первой главе рассказывается о практической стороне финансового моделирования. Что такое модели вообще и финансовые модели в частности? Зачем они нужны? Как понять — хорошая модель или нехорошая? Кто использует эти модели, как использует, кто их строит? Мы обсуждаем вопросы, понимание которых важно для всех участников подготовки сделки на рынке: «модельеров», трейдеров и «сейлзов». Здесь вы узнаете о том, как образуется цена, по которой кто-то покупает, а кто-то продает, как устроены хеджи, как развитие событий на рынке приводит к переосмыслению моделей и торговой практики. Мы вводим систему правил — принципов, которые помогают решить, является ли модель «хорошей». В качестве примера такой модели мы подробно разбираем уравнение Блэка — Шоулза с локальными волатильностями. Попутно вводятся необходимые понятия и термины, используемые в последующих главах.

### Моделируя модели, или *The Next «Next Model»*

Любая модель упрощает картину процессов, которые происходят в реальности. Стабильность упрощения является важной характеристикой модели. Качество модели можно оценивать по тому, насколько ее параметры устойчивы. Однако в поиске качественной модели важно не просто найти еще одну модель, но выйти на новый уровень понимания моделируемых процессов.

В Главе 2 мы рассматриваем различные подходы к описанию динамики параметров финансовых моделей. Пример такого параметра – вмененная волатильность, ключевая величина в оценке опционов. Как ее стохастичность влияет на цены простых и экзотических финансовых инструментов? Чтобы это понять, мы используем стандартный язык описания чувствительности цены инструмента к параметру. Взяв несколько моделей стохастической волатильности, мы обсуждаем их применимость в реальной жизни. В частности, нас интересует, насколько эти модели соответствуют эмпирическим наблюдениям. В заключение мы рассматриваем хорошо известную в индустрии модель вмененной волатильности *dVega*. Она выводится из общей модели случайной краткосрочной волатильности как модель оценки поправок к решениям стандартного уравнения Блэка – Шоулза с постоянными параметрами.

## **Модели как есть или как надо? Рыночные или структурные модели**

Есть два подхода к финансовому моделированию. С одной стороны, можно строить модели, исходя из некоторых фундаментальных предположений о структуре происходящих на рынке процессов. Загадав динамику, пытаются воспроизвести наблюдаемые на рынке цены. Такие модели так и называются – фундаментальными, или структурными. С другой стороны, в моделировании можно опираться на относительную оценку финансовых инструментов рынком. Это – рыночные модели. Они воспроизводят динамику рынка без фундаментальных предположений об основах или причинах этой динамики. В Главе 3 мы сравниваем практические и эстетические характеристики двух подходов, которые по сути являются двумя сторонами одной медали. Основная тема главы раскрывается через призму моделирования цен инструментов с фиксированной доходностью. По ходу изложения мы знакомим вас со стандартными для финансовой индустрии моделями коротких процентных ставок, такими как *HJM*, Хо и Ли, и Васичека, а также моделями динамики кривой доходности. Часть главы также посвящена развитию моделей вмененной волатильности в рамках мембран волатильности и метода Дермана и Кани.

## **Финансовый Хоббит: от кредита к акциям и обратно. Модели структуры капитала**

Эта глава посвящена фундаментальным и арбитражным моделям структуры капитала компаний. Сначала, на конкретных примерах и историях, вводятся основные понятия, которые связаны с кредитным риском и кредитными финансовыми инструментами. Затем, на примере моделей Мертона и *KMV*, рассматривается фундаментальный подход к оценке кредитных инструментов с использованием публичной информации об акциях компаний. Арбитражный подход продемонстрирован на примере арбитражной модели структуры капитала – модели *CRR*, или *Credit Risk Reversal*. Эта модель была разработана в инвестбанке *JPMorgan Chase* в 2003–2004 годах. Мы приводим практические примеры использования подобных моделей для создания стратегий защиты кредитных портфелей и стратегии, которая зарабатывает на кризисах. В заключении главы мы обсуждаем то, как макромоделли структуры капитала позволяют связать макроэкономику с микродинамикой финансовых рынков.

## **Зачем торговать на эффективном рынке? Модели эффективности и предсказуемость**

Основная тема главы — связь между эффективностью рынка и предсказуемостью движений цен финансовых инструментов. Здесь обсуждаются различные подходы к описанию рыночной динамики и, в частности, популярное мнение о бесполезности применения технического анализа на эффективном рынке. Для описания степени предсказуемости различных ценовых характеристик мы обращаемся к понятиям фрактальности и мультифрактальности ценовых процессов. Полезность введенных концепций демонстрируется на примере предсказаний потери рыночной устойчивости и краткосрочных рыночных кризисов.

### **Ночной дозор: как сознательно учесть бессознательное**

Эта глава — наименее техническая из всей книги. Она посвящена моделированию процессов принятия решений. Начав с обзора любимых экономистами инструментов — функций полезности, мы обсуждаем общие вопросы принятия решений в условиях неопределенности. Здесь же мы рассказываем о приложениях описываемых методов в моделях ценообразования. Во второй части главы речь идет о современных достижениях нейроэкономики и о том, как взаимодействует сознательное и подсознательное в принятии решений. Важность поведенческих аспектов объясняется в рамках теории перспектив. Мы завершаем главу обсуждением приложений этой теории к оценке торговых стратегий и финансовых инструментов.

### **Мир глазами опционного трейдера: оси риска**

Понятия из теории опционов и практику определения цен на рынках производных финансовых инструментов полезно знать не только трейдерам и квантам. Польза от принципов и моделей, о которых мы рассказываем в этой книге, гораздо шире. Они позволяют в новом свете взглянуть на многие проблемы финансового анализа. Даже те, которые на первый взгляд напрямую не связаны с финансовыми производными. В Главе 7 мы предлагаем классифицировать любой риск — не только изменения цены опциона! — в терминах чувствительностей, так называемых *Greeks* производных финансовых инструментов.

### **Мир глазами опционного трейдера: 10 примеров из жизни**

Предыдущая глава заложила фундамент — систему классификации рисков на основе взгляда опционного трейдера. Здесь же мы разбираем примеры приложения этого взгляда к различным задачам финансовой экономики. Рассматриваются проблемы построения оптимального инвестиционного портфеля, определения оптимальной структуры капитала компании, разработки справедливой структуры вознаграждения управляющих. Примеров подобных задач может быть много. Эта глава поможет вам научиться смотреть на мир по-другому. Так, как смотрит на свой портфель трейдер, который хорошо понимает, что цены опционов — результат случайной и нелинейной динамики на неравновесном рынке.