

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВЕДЕНИЯ ИНВЕСТОРА НА КОМБИНИРОВАННОМ РЫНКЕ: ОТ ЧАСТНОГО К ОБЩЕМУ*

© 2017 г. Ю.М. Курманова¹

(Москва)

Аннотация. Статья посвящена моделированию и оптимизации поведения частного инвестора на комбинированном рынке, представляющем собой совокупность реальных и финансовых рынков. Различные варианты вложения капитала далее будут интерпретироваться как разные инвестиционные политики поведения инвестора. Согласованно с ними приводится классификация задач в зависимости от характера направленности инвестиций. Анализируются различные постановки задач. Вводятся новые элементы задачи, в том числе максимизируемые критериальные показатели ожидаемого расчетного годового экономического эффекта в зависимости от типа направленности инвестирования за выбранный инвестором расчетный период и др. С их помощью выравнивается уровень риска для обеспечения корректного отбора решений в рассматриваемых сегментах комбинированного рынка. Предлагаются методы решения задач в условиях стационарного и нестационарного макроэкономического окружения с учетом факторов риска и неопределенности. Разработаны новая частная постановка задачи и алгоритм ее решения в зависимости от типа макроэкономического окружения. В работе также приводятся соображения по алгоритму решения общей постановки задачи.

Ключевые слова: комбинированный рынок, стационарная экономика, нестационарная экономика, инвестиционная политика, инвестиции, поведение инвестора, оптимизация, критерий эффективности.

Классификация JEL: C02, G02, G11, G17.

1. ВВЕДЕНИЕ

Поведение инвестора на комбинированном рынке, включающем возможность эффективно инвестировать располагаемый инвестором капитал в различные активы фондового рынка и в реальные инвестиционные проекты, слабо разработано как в теоретическом, так и в практическом аспектах в экономической литературе. Использование в качестве методологической базы системного анализа, а на инструментальном уровне — аппарата экономико-математического моделирования — встречается еще реже. Иными словами, излагаемая ниже совокупность постановок задач является новой как в целом, так и в отдельных элементах. Поэтому одна из целей настоящей статьи состоит в изучении рыночного поведения инвестора, методики принятия им эффективных управленческих решений по использованию имеющегося у инвестора собственного капитала и легальных возможностей его пополнения. Задача будет последовательно усложняться, соответственно, постановки задач будут рассматриваться от частного случая к общему. Другая цель исследования — изучение возможностей формализации как частной, так и общей постановки задачи оценки поведения инвестора с делимым по различным направлениям капиталом для случая нескольких инвестиционных проектов и любым заданным числом ценных бумаг на фондовом рынке. Такая постановка задачи является новой и малоизученной². Вводится новое понятие “направленность инвестиций”, и в зависимости от его типа рассматриваются две основные постановки задачи — однонаправленное и многонаправленное инвестирования капитала инвестора.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 16-06-00098 и № 16-06-00229).

¹ Юлия Мухамедовна Курманова — аспирант, экономист, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Институт системного анализа, Москва; fo-daха07@mail.ru. Автор выражает искреннюю благодарность С.А. Смоляку, замечания которого позволили внести полезные уточнения в ряд положений статьи.

² Автору известна только одна работа на данную тематику — статья (Ларченко и др., 2014, с. 221–225).

Несмотря на различия между типами инвестирования (постановками задач), их эффективность с принципиальной точки зрения должна оцениваться единообразно. Данный принцип подробно аргументирован в работе (Виленский и др., 2015, с. 105), в которой отмечается, что в основу оценок эффективности любых типов инвестиционных проектов независимо от их технических, технологических, финансовых, отраслевых или региональных особенностей должны быть положены единые основные положения (принципы). В данной статье мы также будем руководствоваться таким подходом и приведем ряд основополагающих, на наш взгляд, дополнительных рабочих принципов.

1. *Системность*. Так как задача реализуется в условиях определенного (экономического, социального, политического и др.) окружения, ее эффективность во многом зависит от взаимодействия инвестора с общей системой. В рамках нашей задачи инвестору необходимо достигнуть своей цели на комбинированном рынке, который представляет собой систему эффектов:

- непосредственно возникающие (т.е. прямые, внутренние),
- опосредованно возникающие (т.е. косвенные, внешние),
- эффекты взаимодействия элементов (т.е. синергетические, системные).

2. *Адекватность*. Инвестор должен производить оценку эффективности своих вложений на основе достаточного детального описания рынков, которое должно отражать реальную систему экономических объектов и отношений между ними. При моделировании инвестор должен исходить из правильного учета интересов всех участников (в корпоративных финансах принято считать, что интерес заключается в максимизации своей правильно подсчитанной чистой экономической прибыли за расчетный период).

3. *Сопоставимость (сравнимость)*. Для корректного сравнения величин эффектов на различных сегментах комбинированного рынка инвестору необходимо обеспечить однородность и соразмерность сравниваемых показателей. Им может стать интегральный эффект NPV-типа или равноценный ему по результату, но более удобный по форме адекватной математической модели.

4. *Согласованность*. Этот принцип означает, что варианты инвестиционных мероприятий и способы их оценки должны быть приведены к сопоставимому виду по ряду признаков:

- реализуемость вариантов, т.е. должно быть проведено согласование с объемами всех видов ресурсов, которые инвестор может выделить на рассматриваемые цели;
- полнота охвата затрат и результатов – при оценке каждого варианта должны быть приняты в расчет все существенные составляющие затрат и результатов;
- отсутствие повторного счета одних и тех же затрат и результатов (в частности, важно проследить корректность учета налоговой базы).

5. *Оптимальность*, т.е. соответствие принципу максимизации целевой функции при заданных ограничениях. Инвестор стремится за правильно выбранный им расчетный период максимизировать величину ожидаемой, корректно подсчитанной чистой экономической прибыли, которая выступает в качестве конечного эффекта.

6. *Недетерминированность*. Оценка вложений инвестора рассматривается в условиях риска и неопределенности, которые необходимо учитывать при расчетах искомых показателей эффекта.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Дадим определения основным понятиям, которые будут использоваться при изложении. Одним из таких является объект исследования, на котором рассматривается задача оптимизации поведения инвестора. Объект исследования – **смешанный (комбинированный) рынок**, под которым преимущественно будет пониматься достаточно адекватно выраженный на языке входных и выходных потоков, смоделированный объединенный рынок одного или нескольких реальных инвестиционных проектов и фондовый рынок множества ценных бумаг. У инвестора также существует возможность предварительной оптимизации своего исходного капитала, с которым он выйдет на смешанный рынок. Например, инвестор может эффективно вкладывать свой

свободный капитал полностью или частично как в различные активы фондового рынка, так и в реальные производственные или торговые инвестиционные проекты, а также привлекать дополнительно кредитные ресурсы, если при оценке по целевой функции это окажется эффективным. Допускаются и другие варианты инвестирования, которые могут варьироваться в зависимости от предпочтений инвестора, к примеру, вложения в недвижимость, в трастовый фонд, в валюту, но в рамках данной работы мы ограничимся понятием смешанного рынка, которое было определено выше.

Характер направленности инвестиций. В работе вводятся новые понятия направленности инвестиций, в зависимости от их типа рассматриваются следующие постановки задач.

1. Однонаправленные инвестиции (частная постановка задачи). Выбор осуществляется между вложением всего капитала (после его предварительной оптимизации³) инвестора в один инвестиционный проект в реальном секторе или в портфель ценных бумаг на фондовом рынке. Возможность разделения капитала между указанными рынками в данной частной постановке исключается, т.е. считается, что весь капитал направляется либо на фондовый рынок, либо в инвестиционный проект, параметры которого точно совпадают с величиной капитала инвестора.

2. Многонаправленные инвестиции (общая постановка задачи). Допускается дробление капитала – рассматриваются его вложения как в портфель инвестиционных проектов в реальном секторе, так и в портфель ценных бумаг на фондовом рынке либо одновременно в оба сегмента рынка. Решение задачи понимается как нахождение размера инвестиций, вкладываемых в каждый сегмент комбинированного рынка и связанных с ним величин получаемых эффектов.

Далее будем предполагать, что варианты предварительной оптимизации уже определены; капитал фиксирован внутри каждого варианта. К примеру, инвестор может рассматривать возможность взаимодействия с банком – оформление кредита на выгодных для него условиях – или любой другой доступный источник увеличения исходных денежных средств. После предварительной оптимизации по капиталу инвестор выходит на комбинированный рынок с фиксированным объемом денежных средств для последующего построения эффективной инвестиционной политики, учитывающей взятые им на себя дополнительные долговые обязательства.

Можно привести еще ряд постановок, которые будут представлять собой промежуточную задачу, например для двунаправленных инвестиций. При этом, как и в первом случае, анализируются вложения в один инвестиционный проект в реальном секторе и в фондовый рынок, но с возможностью дробления капитала. Необходимо найти оптимальное распределение средств между ними.

Общую постановку задачи при соответствующих априорных гипотезах и важнейших типовых ограничениях обычно можно свести к двунаправленной или частной, поэтому вышеприведенное деление кажется достаточно полным. Понятно, что при наличии нескольких проектов с одинаковым жизненным циклом задача легко сводится к двунаправленному случаю. Однако в многонаправленном случае для проектов с различным жизненным циклом могут возникать проблемы, решение которых потребует инструментария, выходящего за пределы данной статьи.

Типы макроэкономического окружения. Как указано в (Лившиц В., Лившиц С., 2010, с. 50–51), разные типы экономик определяют существенно различные макро- и микроэкономические условия проведения конкретных инвестиционных мероприятий и тем самым влияют не только на их реальную эффективность, но и отражаются на способах их оценки. В связи с этим вышеизложенные постановки задач и расчеты к ним будут рассматриваться в разрезе двух приведенных в (Лившиц, 2013, с. 89–92) терминах – стационарной и нестационарной экономик.

При непосредственном переходе к решению задач исходные гипотезы и критерии отбора для стационарной и нестационарной экономик будут различны как для фондового рынка, так и для рынка инвестиционных проектов в реальном секторе.

Фондовый рынок. Мы будем рассматривать фондовый рынок, характеристики которого изменяются в зависимости от типа макроэкономического окружения. И будем придерживаться правила, что практически никто не способен точно предсказать спады и подъемы финансового

³ Оптимизация проводится по интересам инвестора, т.е., например, по максимизации системного NPV.

рынка в долгосрочной перспективе или успешно отбирать акции⁴. Следовательно, успех отдельных стратегий и инвестиционных менеджеров определяется исключительно случайными вариациями, которые, возможно, в конечном итоге подчиняются закону больших чисел. Эти утверждения вытекают напрямую из работ Ю. Фама (Fama, 1970), который выдвинул *гипотезу эффективного рынка*, где вся существенная информация немедленно и в полной мере отражается в курсовой стоимости ценных бумаг. Ю. Фама выделял три, ставшие впоследствии общепринятыми, разновидности эффективности рынка: *сильная форма эффективности*, которая постулирует, что стоимость рыночного актива полностью отражает всю информацию — публичную и внутреннюю (инсайдерскую); *средняя форма эффективности* — стоимость актива отражает только публичную, но не инсайдерскую информацию; *слабая форма эффективности* — динамика стоимости актива в прошлом не является основанием для прогнозирования стоимости в будущем.

Стоит отметить, что концепция эффективных рынков является до сих пор краеугольным камнем количественной теории рынка капитала, которая серьезно повлияла на все исследования в данной области.

К примеру, в работе (Петерс, 2000, с. 27) автор подвергает критике данную концепцию, считая, что гипотеза эффективного рынка выполняет лишь одну функцию: оправдать использование вероятностных расчетов в анализе рынков капитала. По мнению автора, последние полвека в теории финансов доминировала линейная парадигма, в которой каждое действие вызывает пропорциональную реакцию. К линейным парадигмам Э. Петерс относит гипотезу эффективности фондового рынка, концепцию равновесия, модели Марковица–Тобина, Шарпа и т.п. По его мнению, преимущество этих линейных моделей, состоящее в их простоте, зачастую превышает опасности, потенциально кроющиеся в их ограничениях. В своей работе Э. Петерс постулирует, что жизнь неупорядочена и часто, когда мы меньше всего этого ожидаем, возникают экспоненциальные суперреакции, что доказывает нелинейное поведение рынка капитала (Петерс, 2000, с. 29–30). В работе рассматриваются все ошибочные предпосылки, которые стоят во главе угла нынешней теории рынков капиталов и, по мнению автора, “на смену старым методам должны прийти новые, которые не предполагают независимости, нормальности или конечных дисперсий. Эти новые методы должны включать фракталы и нелинейную динамику, которые (примененные к реальным данным) демонстрируют гораздо более высокую результативность. Ко всему прочему нелинейная парадигма должна допустить в теорию рынков концепцию долговременной памяти: событие может влиять на рынки долго, возможно — бесконечное время в будущем. Нынешняя линейная парадигма допускает лишь возможность короткой памяти, в лучшем случае — в субмартингальной форме”⁵.

В своем исследовании мы будем придерживаться мнения, что в условиях *стационарной* экономики рынок является эффективным, т.е. на нем действует большое число полностью информированных агентов, которые мгновенно реагируют на внешние события, действуя при этом рационально и независимо друг от друга. Для такого рынка характерно отсутствие возможности арбитража, а оптимальный портфель ценных бумаг справедливо формируется по модели Марковица–Тобина.

⁴Такая гипотеза высказана, например, в работе (Бернштейн, 2004, с. 78, 176). Интересно, что британская королева задавала схожий вопрос во время посещения Лондонской школы экономики в ноябре 2008 г.: “Почему кризис не был предупрежден?” 22 июля 2009 г. она получила ответ от профессоров Т. Besley и Р. Hennesy, широко освещенный в английских СМИ. Существенно иной ответ дали 10 ведущих британских экономистов, присоединившиеся к мнению нобелевских лауреатов Р. Коуза, В. Леонтьева и М. Фридмана. По их мнению, причина — в недостатках обучения экономистов, их узкой подготовке не по экономике, а прикладной математике (Лившиц, 2013, с. 264). Любопытно, что российская газета “Известия” (Известия, 2015, с. 3) проверила на дальновидность наших экспертов и чиновников. Среди тех, кто больше всего заблуждался в оценке прогноза, выделяется экс-министр экономики РФ, глава Сбербанка Герман Греф (по его прогнозу, курс доллара к концу 2015 г. должен был установиться на уровне 48 руб., а цена на нефть во втором полугодии должна была начать восстанавливаться) и экс-министр финансов Алексей Кудрин (по его мнению, серьезного изменения курса рубля через год не должно было произойти). Однако бывают, хотя и редко, и удивительно удачные прогнозы-попадания. Так, член-корреспондент РАН, научный руководитель Института экономики РАН Р. Гринберг дает пугающе точные прогнозы. Так, 11 ноября 2015 г. он заявил обозревателю “МК”, что 10 января курс составит 74,65 руб. за доллар. И практически не ошибся (Зубов, 2016, с. 4).

⁵Мартингал — случайный процесс $x(t)$, $t_1 < t_2$, обладающий некоторым безразличием к прошлому. Мартингал состоит в том, что условные математические ожидания приращений $x(t_2) - x(t_1)$, $t_1 < t_2$ при заданных значениях $x(s)$, $s \leq t$, независимо от этих значений, равны нулю. Если предположить, что они еще и неотрицательны (неположительны), то $x(t)$ называется субмартингалом (супермартингалом) (Прохоров, 1988, с. 337).

В условиях *нестационарного* макроэкономического окружения, которое характеризуется значительно меньшей степенью постоянства и определенности, а фондовый рынок является неустановившимся с возможностью операций с большим эффектом арбитража. Предполагается, что портфель выбирается самим инвестором исходя из его личных побуждений и прогнозов.

Перейдем к кратким характеристикам рынка проектов в реальном секторе.

Рынок проектов в реальном секторе определяется заданной инвестором совокупностью проектов с известными основными характеристиками каждого проекта: жизненный цикл и его разделение на шаги, финансовые потоки, ставки дисконта и т.д. и их компоненты (Виленский и др., 2015).

При построении инвестиционной политики важно учитывать влияние инфляции – повышение общего (среднего) уровня цен или уменьшение покупательной способности денег с течением времени. Любые расчеты эффективности связаны с сопоставлением затрат и результатов во времени, а изменение цен со временем, причем зачастую неравномерное (переменные темпы) и неоднородное (разные темпы повышения цен на разные виды товаров, услуг и ресурсов), может существенно сказываться на общей оценке эффективности вложений.

Нам необходимо определить еще два понятия – это “неопределенность” и “риск”. В соответствии с (Смоляк, 2002, с. 40) под *неопределенностью* будем понимать неполноту и неточность информации об условиях инвестирования. Неблагоприятное отклонение этих условий расценивается как *риск*, причем в стационарной экономике под риском подразумеваются отклонения как в плохую, так и в хорошую сторону, тогда как в нестационарной – только в негативную сторону.

Более подробную информацию обо всех используемых в работе основных характеристиках можно найти в работе (Виленский и др., 2015).

Центральной фигурой исследования является инвестор. Определим его мотивацию.

Инвестор и его характеристики. Инвестор понимается как юридическое или физическое лицо, осуществляющее долгосрочные или краткосрочные вложения денежных средств в инвестиционную деятельность для получения максимально возможной за расчетный период чистой экономической ожидаемой прибыли (Виленский и др., 2015). Предположим, что инвестор обладает свободным капиталом (т.е. первоначально собственным или привлеченным) и вкладывает его в различные активы рынка, стремясь к достижению своей цели.

Теперь охарактеризуем отношение инвестора к риску и доходности.

Гипотеза 1. При принятии решений инвестор использует всю доступную информацию, извлекает из нее максимальную пользу, предпочитая больший доход меньшему.

Гипотеза 2. Инвестор – рациональный, т.е. не склонен к риску и часто сталкивается с дилеммой: желанием иметь наибольшую эффективность и желанием обеспечить вложения с наименьшим риском. Поскольку оба желания невозможно удовлетворить одновременно, необходимо сделать выбор, который зависит от характера инвестора и от его склонности к риску. Однако рациональный инвестор должен быть уверен, что, определив в качестве цели достижение наибольшей ожидаемой эффективности, он выберет такую структуру, которая поможет добиться заданного целевого эффекта с наименьшим риском (Первозванский, Первозванская, 1994, с. 90).

Стоит заранее оговорить, что предположение о рациональной сущности инвестора является допущением, которое мы принимаем как исходное. Основанием для этого послужили многочисленные методологические подходы, опирающиеся на принцип рационального поведения для исследования экономической деятельности и ее мотивации. Идея рационального поведения человека восходит к классической теории Адама Смита, где экономический человек представлен как эгоист, максимизирующий свою прибыль. Этот подход лег в основу современной экономической теории – неоклассики, которая, в свою очередь, создана на предположении, что экономические агенты действуют рационально и оптимально, т.е. максимизируют объективный доход и субъективную полезность и минимизируют вред и затраты. Безусловно, понятие рационального человека в экономике упрощает теоретический анализ и вполне нормально для построения исследовательских моделей, основанных на предположении о том, что экономический объект представлен “как ориентированный на потребление максимизатор и обладает как полной

информацией о том, что происходит в окружающем мире, так и неограниченным интеллектом” (Трубицын, 2013, с. 14–15).

Однако неприменимость данных допущений в реальной жизни, в условиях неопределенности, малой информированности и нестабильности экономических систем, а также воздействия психологических факторов на человека дает основание полагать, что данный принцип рациональности весьма условный и может быть использован только при определенных обстоятельствах. Данной проблематике посвящены многочисленные работы по институциональной экономике, в которых происходит пересмотр главного принципа неоклассики о рациональном выборе и рациональной сущности человека. Например, в статье (Юдина, 2004) автор пишет, что в отличие от принципа предельной полезности, который принят в традиционной экономической теории и согласно которому инвестор, имея систему заданных предпочтений, всегда стремится найти решение, отвечающее предпочтениям более высокого порядка, в действительности меняет свои предпочтения в зависимости от ситуации, хода инвестиционного процесса и субъективных пожеланий. Инвестор может подменять реальную трезвую оценку действительности. К примеру, он может поддаться характерному для фондового рынка стабильному поведению, которое зачастую обусловлено значительными неадекватными колебаниями цен на финансовые активы, приводящие к финансовой дестабилизации с вытекающими из него макроэкономическими последствиями, в том числе негативными.

Подобных примеров отклонения поведения инвесторов от принятого в традиционной финансовой и экономической теории предположения о рациональности принимаемых им решений можно привести немалое множество. Данное направление является отдельной темой для исследования, поэтому здесь мы ограничимся приведенной краткой информацией.

На основе вышеизложенного определим мотивацию инвестора следующими позициями. Инвестор, обладая свободным капиталом, стремится максимизировать за правильно выбранный расчетный период величину ожидаемой, корректно подсчитанной чистой экономической прибыли, которая выступает в качестве конечного эффекта, т.е. полезности использования имеющегося у него капитала.

Инвестор рассматривает все основные возможные варианты функционирования капитала на доступных ему различных финансовых рынках, а именно — на фондовом рынке, рынке реальных инвестиций, а также возможность взаимодействия с кредитными учреждениями (банками). При этом он оценивает их с точки зрения собственной полезности, стремясь максимизировать в соответствии с гипотезой 1.

Указанные два постулата являются принимаемыми гипотезами (допущениями), которые могут иметь другую мотивацию поведения инвестора, но тогда конечные результаты могут быть иными. Однако представляется, что гипотезы 1–2 адекватны и отвечают реальным фактам поведения инвестора и поэтому в дальнейшем будут нами приниматься как исходные.

Критерий эффективности. Целевой функцией для каждого типа сформулированных постановок задач принимается максимизация правильно посчитанной чистой экономической прибыли. Критерием выбора оптимального варианта инвестирования для инвестора будет показатель эффекта, который необходимо за расчетный период максимизировать в соответствии с мотивацией инвестора. В зависимости от рассматриваемого характера направленности инвестиций расчетный период эффекта может быть различным.

Отметим, что под свободным капиталом инвестора понимается величина доступных денежных средств, которая представляет собой сумму его собственных средств и привлеченных. Очевидно, что в контексте этой задачи при наличии привлеченного капитала мы будем уменьшать эффект на величину выплат за расчетный период по заранее определенной кредитной функции, но капитал, с которым инвестор начнет оценивать вложения, уже фиксирован и известен на первом шаге.

Несмотря на кажущуюся простоту постановки, задача является нетривиальной. В том числе встает серьезная проблема, как сравнивать эффекты от вложений в каждый из сегментов рынка и как обеспечить их сопоставимость.

Одним из ключевых моментов сравнения служит критерий выбора. В нашем случае — это показатель эффекта от вложений, расчет которого меняется в зависимости от характера

инвестиций и макроэкономического окружения. В случае частной постановки задачи нам представляется, что по условиям информационной доступности показатель системного эффекта разумно рассчитывать за год, в случае общей постановки задачи – за жизненный цикл проектов или наибольший жизненный цикл проекта из входящих в портфель.

Логика принятия решений здесь следующая. В частном случае выбирается максимум эффекта по двум сегментам рынка. В общем случае инвестиции сначала направляются в реальные проекты, а оставшаяся часть – в фондовый рынок, а затем после перебора сценариев и оценки по ним ожидаемого NPV с учетом множественности сценариев, факторов риска и неопределенности, инфляции и т.д. осуществляется выбор. Таким образом, формируется множество различных сценариев инвестирования и выбирается вариант, согласно которому суммарный ожидаемый системный эффект будет максимальным. С математической точки зрения данная задача считается задачей смешанной оптимизации – дискретной (когда рассматриваются варианты выбора проектов) и непрерывной (когда речь идет о фондовом рынке), и выбор наиболее удачной формы такой смешанной модели требует дальнейших исследований алгоритмизации.

В упрощенном виде модель может выглядеть, например, следующим образом (при выполнении свойств аддитивности):

$$U(X\eta) = \sum_i u(x_i)\eta_i + \sum_j u(x_j)\eta_j \rightarrow \max$$

где U – системная функция полезности для всего комбинированного рынка; u – локальная функция полезности, т.е. относящаяся к отдельному рыночному объекту; $X = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор количественных характеристик деятельности элементов объектов рынка; x_i, x_j – количественная характеристика отдельного элемента реального или фондового рынков; η_i, η_j – идентификаторы булевого типа:

$$\eta_i, \eta_j = \begin{cases} 0, & \text{если инвестор не вкладывает инвестиции в } i \text{ (} j \text{) объект рынка;} \\ 1 & \text{– в противном случае.} \end{cases}$$

При заданных ограничениях по инвестициям в объекты и в предположении отсутствия синергического их нелинейного взаимодействия:

$$\begin{aligned} \sum_i k_i \eta_i + \sum_j k_j \eta_j &= K, \quad \sum_i G_i^l \leq G^l, \quad l=1, \dots, L; \\ \sum_j G_j^p &\leq G^p, \quad p=1, \dots, P; \quad k_i, k_j \geq 0; \dots, \end{aligned}$$

где k_i, k_j – возможные инвестиции в рыночные объекты по рассматриваемым вариантам; G_i^l – ограничения в объекты реального рынка, связанные с ресурсами типа l ; G_j^p – ограничения в объекты фондового рынка, связанные с ресурсами типа p ; L и P – число ограничений типа l и p соответственно; G^l, G^p – общий уровень доступности этих ресурсов.

Все входящие в эти ограничения параметры являются экзогенными и обычно задаются экспертно инвестором или исследователями.

Как указано выше, модель упрощенная, и на практике в случае потребности в более высокой адекватности, может быть, необходимо добавить другие ограничения или модифицировать целевую функцию. Из структуры модели видно, что для поиска решения могут оказаться полезными как точные классические методы поиска глобального оптимума (например, метод ветвей и границ, динамическое программирование, методы направленного перебора вариантов и т.д.), так и известные приближенные методы поиска локально-оптимальных решений (например, методы оптимизации по группам переменных по алгоритмической схеме Бендерса, когда каждая итерация состоит из двух этапов: первый, на котором производится оптимизация в задаче по непрерывным переменным (сначала задаваемом или берущемся со второго этапа предыдущей итерации значений компонент вектора $\eta(\eta_1, \eta_2, \dots)$), а затем на втором этапе, уже зафиксировав их оптимальные или субоптимальные значения, происходит оптимизация по булевым переменным.

Рассмотрим более подробно частную постановку задачи, когда инвестиции инвестора имеют однонаправленный характер (Курманова С., Курманова Ю., 2012, с. 16–22).

3. ОДНОНАПРАВЛЕННЫЕ ИНВЕСТИЦИИ

Современная экономика предоставляет предприимчивому человеку или юридическому лицу, имеющему в своем распоряжении свободные денежные средства, много возможностей их приумножить. Для разумного инвестора, не склонного к риску и нацеленного на долгосрочную прибыль, финансовый рынок дополняется рынком инвестиционных проектов в реальном секторе.

Наиболее доходным и распространенным среди инвесторов способом наращивания капитала является вложение денег в активы, реальные и финансовые. Вложение денег на фондовом рынке имеет в виду получение годовой прибыли как за счет дивидендов, так и за счет роста курсовой стоимости ценных бумаг. Рынок инвестиционных проектов рассчитан на получение прибыли в долгосрочном периоде. В частном случае задача инвестора состоит в выборе оптимального направления вложений всего своего капитала между портфелем ценных бумаг и портфелем инвестиционных проектов в реальном секторе. Сложность решения даже этой частной задачи состоит в необходимости учета множества факторов, связанных с различием характеристик, присущих ценным бумагам и проектам. В данном разделе речь пойдет о выборе наиболее эффективного вложения фиксированного капитала инвестора в один из двух вариантов – вложения имеющегося капитала – в портфель ценных бумаг или в инвестиционный проект.

3.1. Концептуальная постановка задачи. Инвестор, обладающий капиталом K , приходит на комбинированный рынок с целью наиболее эффективно использовать свои денежные ресурсы.

У инвестора имеются две возможности:

1) вложить весь свободный капитал в инвестиционный проект с жизненным циклом T лет и не обязательно детерминированной величиной экономической прибыли $\underline{\pi}_k(t) \leq \pi_k(t) \leq \overline{\pi}_k(t)$ при $t \leq T$, где k – индекс допустимого сценария, $\underline{\pi}_k(t), \overline{\pi}_k(t)$ – верхняя и нижняя границы сальдо денежного потока на шаге t по сценарию k ;

2) сформировать на основе имеющегося свободного капитала оптимальный портфель из обращающихся на фондовом рынке ценных бумаг за период времени, согласованный с характеристиками инвестиционного проекта. В данном случае отсутствует возможность разделения капитала между этими рынками. Считается, что весь капитал направляется либо на фондовый рынок, либо на рынок инвестиционных проектов в реальном секторе. Необходимо выбрать наиболее выгодный вариант инвестирования.

При формировании оптимального портфеля ценных бумаг на фондовом рынке мы будем пользоваться теорией Марковица–Тобина в варианте, изложенном в (Первозванский, Первозванская, 1994, с. 40–61).

Обозначим исходные гипотезы последовательно, по двум упомянутым выше типам макроэкономического окружения.

3.2. Исходные гипотезы для стационарной экономики. Рынок – стационарный, следовательно, его характеристики известны и не меняются по годам. Фондовый рынок – безарбитражный, т.е. на нем не существует возможности получения надежного дохода без осуществления затрат (инвестиций). Характеристики отдельных элементов рассматриваемых рынков и рынков в целом предполагаются независимыми друг от друга, а осуществляемые с помощью инвестиций мероприятия – малыми в смысле определений малости, данных в (Лурье, 1973, с. 249–299).

Это позволяет пользоваться принципом аддитивности. Поведение инвестора характеризуется как рациональное, т.е. не склонное к увеличению риска при фиксированном эффекте (доходности). У инвестора имеется достаточно полная информация по финансовым инструментам фондового рынка и их характеристикам, т.е. для каждой ценной бумаги известны ее среднегодовая доходность и риск. Объем инвестиций в проект или в фондовый портфель одинаковый и совпадает с начальными инвестициями, необходимыми для вложения в проект. Расчетный период (жизненный цикл проекта – T лет) разбит на шаги равной длительности. Временная продолжительность каждого шага равна одному году. Ставка дисконта во времени не меняется – дисконтирование осуществляется по формуле сложного процента.

По всем рассматриваемым сценариям проекта притоки $R_k(t)$ и оттоки $C_k(t)$ учитываются в конце года, соответственно сальдо денежного потока $\pi_k(t) = R_k(t) - C_k(t)$ – так же. Инфляция

предполагается низкой и мало меняющейся по годам, поэтому будем считать, что либо она отсутствует (пренебрегаем ею), либо прогнозный поток предварительно дефлирован. Возможно также, что эффективность при инфляции считается по известной формуле И. Фишера (Виленский и др., 2015, с. 144) путем добавления некоторого усредненного показателя инфляции по всем годам в ставку дисконта. Риск каждой ценной бумаги измеряется волатильностью ее доходности⁶.

Для того чтобы инвестор мог количественно оценить и сравнить полученные результаты по фондовому рынку и инвестиционному проекту, необходимо выбрать некий подходящий критерий отбора, общий показатель, с помощью которого инвестор будет осуществлять выбор. Рассмотрим подробно алгоритм решения задачи с соответствующим описанием применяемого критерия эффективности.

3.3. Алгоритм для стационарной экономики. Как было сказано ранее, конечной целью инвестора является максимизация ожидаемого эффекта от вложения, а именно максимизация правильно подсчитанной ожидаемой чистой экономической прибыли за расчетный период. Представляется, что таким показателем может стать ожидаемый NPV , который при наличии исходной информации и ставках дисконта можно рассчитать для реального инвестиционного проекта и портфеля ценных бумаг. Для принятия решения инвестору необходимо сравнить показатели NPV для каждого сегмента рынка и выбрать из них максимальный, т.е. найти

$$\max(NPV^p, NPV^f) = \max\left(\sum_{t=1}^{t=T} \frac{\pi^p(t)}{(1+E)^t}, \sum_{t=1}^{t=T} \frac{\pi^f(t)}{(1+E)^t}\right), \tag{1}$$

где p и f – индексы реальных и фондовых значений переменных соответственно; E – безрисковая безынфляционная годовая ставка дисконтирования; NPV^p и NPV^f – значения NPV по инвестиционному и фондовому портфелю ценных бумаг соответственно.

Входящие в числители выражения (1) величины $\pi^p(t)$ и $\pi^f(t)$ меняются во времени, и эта информация довольно трудно определима, поэтому предлагается заменить (1) на дающую тот же результат инвестиционного выбора формулу максимизации величины среднегодового расчетного эффекта, т.е. определить

$$\max(\Theta_{\text{ср.год}}^p; \Theta_{\text{ср.год}}^f),$$

где $\Theta_{\text{ср.год}}^p$ и $\Theta_{\text{ср.год}}^f$ – среднегодовые расчетные эффекты от вложения в инвестиционный проект и от вложения в фондовый портфель ценных бумаг. При этом для выполнения условий инвариантности выбора достаточно, чтобы соответствующие величины годовых эффектов рассчитывались из условий:

- а) постоянства их величин во временном интервале $[1, T_{\text{расч}}]$;
- б) равенства суммы их дисконтируемых величин соответствующим значениям NPV .

Из этих условий получаем значения среднегодовых расчетных эффектов:

а) $\Theta_{\text{ср.год}}^p(t) = \Theta_{\text{ср.год}}^p \quad \forall t \in [1, T_{\text{расч}}], \quad \Theta_{\text{ср.год}}^f(t) = \Theta_{\text{ср.год}}^f \quad \forall t \in [1, T_{\text{расч}}];$

б) $\sum_{t=1}^{t=T} \frac{\Theta_{\text{ср.год}}^p}{(1+E)^t} = NPV^p, \quad \sum_{t=1}^{t=T} \frac{\Theta_{\text{ср.год}}^f}{(1+E)^t} = NPV^f.$

Откуда

$$\Theta_{\text{ср.год}}^p = NPV^p / \sum_{t=1}^{t=T} (1+E)^{-t} = Z NPV^p, \quad \Theta_{\text{ср.год}}^f = NPV^f / \sum_{t=1}^{t=T} (1+E)^{-t} = Z NPV^f,$$

где $Z = 1 / \sum_{t=1}^{t=T} (1+E)^{-t}$. Ввиду постоянства Z при заданных назначенных инвестором величинах

E и T нетрудно убедиться, что выполняется условие: оптимальное решение по максимуму NPV

⁶ Под волатильностью понимается степень колебания доходности финансового актива относительно своего среднего значения.

совпадает с оптимальным решением по максимуму среднегодовых расчетных эффектов. Таким образом, оптимальное поведение инвестора соответствует максимуму системного ожидаемого NPV при сформулированных ранее условиях.

Для получения решения определим величины среднегодовых эффектов.

Рассчитаем сначала чистый дисконтированный доход за весь жизненный цикл проекта. Предположим, что проект с жизненным циклом T требует начальных вложений в размере K . Сальдо денежного потока за шаг t расчетного периода равно $\pi(t)$. Тогда чистый дисконтированный доход за весь жизненный цикл проекта $NPV = -K + \sum_{t=1}^{t=T} \pi(t) / (1 + E)^t$.

Среднегодовой операционный эффект проекта $\mathcal{E}_{\text{ср.год}}^P$ в пределах жизненного цикла проекта будет равен

$$NPV + K = \sum_{t=1}^{t=T} \frac{\mathcal{E}_{\text{ср.год}}^P}{(1 + E)^t}, \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.год}}^P = (NPV + K) / \sum_{t=1}^{t=T} \frac{1}{(1 + E)^t}. \quad (3)$$

Формулы (2) и (3) соответствуют детерминированному случаю, когда мы обладаем полной информацией. Однако на практике оценка эффективности вложений на фондовом рынке и рынке инвестиционных проектов, как правило, проводится в условиях неопределенности, т.е. неполноты и неточности информации. В таких случаях применяются специальные модели, которые позволяют условия неопределенности сводить к вероятностным. Вероятностные условия вводятся субъективно (иногда самим инвестором) либо формализованно. В последнем случае теория информации предлагает в качестве меры неопределенности величину *информационной энтропии* по К. Шеннону (Тарасенко, 1963; Лившиц, 1971), другими словами, по правилу Джейнса⁷ (принципа максимума энтропии), рассчитываемому по вероятностям рассматриваемых случайных величин или плотностям их распределения. Этот принцип формулируется следующим образом: из множества вероятностных распределений, обладающих заданными свойствами, т.е. удовлетворяющих заданным экзогенным ограничениям, следует выбирать распределение, у которого информационная энтропия наибольшая. Если предположить, что в условиях поставленной задачи нам известен некоторый интервал $[a_k(t), b_k(t)]$ и случайная величина находится в пределах этого интервала, то теория информации на основе принципа максимума энтропии предлагает использовать на данном интервале равномерный закон распределения. При этом $a_k(t) = \pi_k(t)$ и $b_k(t) = \pi_k(t)$, где k – рассматриваемый сценарий проекта, в пределах которого может варьироваться сальдо денежного потока $\pi(t)$.

Введя этот закон распределения и принимая случайным образом различные значения сальдо финансового потока (экономической прибыли) в интервале, совместимом с априорной информацией, рассчитываем годовые эффекты для каждого года t (шага t), а затем и соответствующие, согласно формуле (3), значения NPV_k для каждого сценария. В итоге мы получаем некую совокупность NPV_k и годовых эффектов, среди которых можно выделить наибольшую и наименьшую величину годового эффекта. Располагая такой информацией, мы можем согласно методическим

⁷Отметим, что для принципа максимума энтропии в (Смоляк, 2002, с. 86) был приведен оригинальный контрпример, из которого следовало, что “принцип максимума энтропии не всегда согласуется с правилами рационального экономического поведения (не выполняется аксиома монотонности), так что данная попытка сведения интервальной неопределенности к вероятностной оказывается неудачной”. Однако в (Лившиц, 2013, с. 240–251) приводится объяснение того, что наличие контрпримеров и парадоксов не является основанием для того, чтобы априори отвергать тот или иной метод или критерий для практического применения, а служит лишь серьезным основанием для более тщательной идентификации, которая позволит этот метод использовать. Хорошая теория очень нужна, а изощренные контрпримеры возможны, но возможность практической встречи с ними маловероятна, хотя иметь их в виду не вредно и надо быть к ним готовыми. Поэтому алгоритмы управления экономикой должны быть не жесткие, а гибкие; их структуры и параметры адаптированы на основе обратных связей, получаемых от управляемого объекта – экономики.

указаниям (Коссов и др., 2000)⁸ использовать формулу Гурвица для оценки ожидаемого среднего годового расчетного эффекта с учетом фактора неопределенности:

$$\Theta_{\text{ож.год}}^P = \lambda \Theta_{\text{ср.год.мах}}^P + (1 - \lambda) \Theta_{\text{ср.год.мин}}^P, \quad (4)$$

где $\Theta_{\text{ож.год}}^P$ – ожидаемый (с учетом риска и неопределенности) годовой эффект проекта; λ – параметр психологии инвестора, который равен 0,3 (для несклонного к риску инвестора) (Виленский и др., 2015); $\Theta_{\text{ср.год.мах}}^P$ и $\Theta_{\text{ср.год.мин}}^P$ – наибольший и наименьший годовые эффекты по наилучшему и наихудшему сценариям развития проекта.

Формула (4) позволяет вычислять ожидаемый годовой эффект проекта, учитывая неопределенность и риск, т.е. в условиях недетерминированности.

Теперь вычислим годовой эффект для фондового рынка. При формировании портфеля ценных бумаг на фондовом рынке мы будем руководствоваться следующими правилами:

1) инвестор стремится сформировать эффективный портфель, который будет ему обеспечивать максимальную доходность при данном уровне риска или минимальную степень риска при выбранном уровне доходности;

2) инвестор включает в портфель рисковые и безрисковые бумаги.

Итак, пусть на фондовом рынке обращается n видов ценных бумаг со случайной годовой доходностью r_i , ее математическим ожиданием m_i для ценной бумаги i и дисперсией σ_i^2 и безрисковая ценная бумага с годовой доходностью r_0 (всего $(n + 1)$ видов ценных бумаг).

Формирование эффективного портфеля производим по теории Марковица–Тобина, согласно которой для каждой величины заданной доходности можно сформировать *оптимальный портфель* с минимальными рисками. Исходя из этой теории, мы будем строить инвестиционную политику на фондовом рынке (оптимальный портфель ценных бумаг). Формула ожидаемой доходности комбинированного вклада в году t в объединенный портфель ценных бумаг по модели Марковица–Тобина, изложенной в (Первозванский, Первозванская, 1994, с. 40), выглядит так:

$$m_{\Phi}(t) = r_0(t) + \frac{m_r(t) - r_0(t)}{\sigma_r(t)} \sigma_{\Phi}(t), \quad (5)$$

где $m_{\Phi}(t)$ – ожидаемая доходность всего портфеля; $r_0(t)$ – доходность безрисковых вложений; $m_r(t)$ – ожидаемая доходность по рассматриваемым сценариям портфеля рискованных ценных бумаг; $\sigma_r(t)$ – среднеквадратичное отклонение (СКО) доходности этого портфеля рискованных ценных бумаг; $\sigma_{\Phi}(t)$ – СКО комбинированного вклада. Тогда дисконтированный средний годовой эффект в году t от вложения в портфель активов будет равен:

$$\Theta_{\Phi}^{\text{год}}(t) = \frac{K m_{\Phi}(t)}{(1 + E)^t}. \quad (6)$$

Для того чтобы посчитать доходность портфеля $m_{\Phi}(t)$, необходимо задать уровень риска для этого портфеля. Для этого возвращаемся к рынку реальных инвестиционных проектов и моделированию различных сценариев проекта с использованием правила Джайнса. Мы получили множество сценариев проекта и множество значений величины годового эффекта для них. По этим значениям мы рассчитываем волатильность годового эффекта проекта и его риск (среднеквадратичное отклонение доходности):

$$\sigma_{\Theta_{\text{ср.год}}^P} = \frac{1}{N - 1} \sqrt{\sum_{k=1}^N (\Theta_{\text{ср.год } k}^P - E(\Theta_{\text{ср.год } k}^P))^2}, \quad (7)$$

где E – символ математического ожидания, k – индекс рассматриваемого сценария, N – число изучаемых сценариев проекта. Полученную величину риска $\sigma_{\Theta_{\text{ср.год}}^P}$ мы подставляем в формулу (5) вместо $\sigma_{\Phi}(t)$ и находим ожидаемую годовую доходность портфеля ценных бумаг $m_{\Phi}(t)$, а затем

⁸ Соответствующие обоснования такого способа учета интервальной неопределенности приведены в работах (Смоляк, 2002, 2006).

по (7) считаем годовой эффект от вложений в портфель ценных бумаг по формуле (6), тем самым выравнивая величины учитываемого риска и делая корректной процедуру выбора инвестором решения по $\max(\mathcal{E}_F^{\text{год}}, \mathcal{E}_{\text{ож.год}}^P)$.

Формулы (4) и (6) представляют собой величины, показывающие ожидаемый годовой эффект от вложения капитала в инвестиционный проект и портфель финансовых активов в недерминированной ситуации, но при равном риске. Сравнивая эти две величины при одинаковом уровне риска, инвестор может определить, какой из альтернативных вариантов однонаправленного инвестирования лучше.

3.4. Исходные гипотезы для нестационарной экономики. Помимо основных аспектов, указанных в определении нестационарного рынка, следует отметить, что структура риска и ее мера в нестационарной и стационарной экономиках значительно отличаются. В стационарной экономике мерой систематического риска является уровень волатильности доходности, а несистематический риск в основном нуллифицируется путем диверсификации активов с помощью безарбитражного фондового рынка. В нестационарной экономике безарбитражного фондового рынка нет, а измерение уровня риска волатильностью доходности становится проблематичным, так как не всегда наблюдается высокая и положительная корреляция между риском и доходностью (Айзин, Лившиц, 2006).

В соответствии с этим **исходные гипотезы** для однонаправленного нестационарного рынка следующие.

Характеристикам рынка присущи резкие и плохо предсказуемые изменения, относительно которых в лучшем случае инвестор может иметь лишь слабое представление об ожидаемых трендах или данных экспертами вариантах прогнозов сценариев (предполагается, что на основании проектов можно будет сформировать сценарии).

Так же как и в стационарном случае, характеристики отдельных элементов рассматриваемых рынков и рынков в целом предполагаются независимыми друг от друга, а осуществляемые с помощью инвестиций мероприятия – малыми, в смысле определений данных в (Лурье, 1973, с. 249–299). Это в том числе позволяет пользоваться принципом аддитивности.

Безарбитражный фондовый рынок отсутствует.

Риск измеряется не волатильностью доходности, а ее односторонним отклонением в сторону уменьшения.

Объем инвестиций в проект или в фондовый портфель одинаковый.

Инфляция в нестационарной экономике высокая и переменная, поэтому ею нельзя пренебречь.

Ставка дисконта также может быть переменной по шагам расчетного периода, и эти изменения, как правило, нельзя не учитывать.

Длительность шагов в течение жизненного цикла не обязательно одинаковая, следовательно, не обязательно их длины равны одному году, а число шагов M_k может отличаться от T лет. Хотя для упрощения изложения часто принимается, что все шаги относительно года целочисленные, причем на шаге s длина шага равна Δ_s лет.

3.5. Алгоритм для нестационарной экономики. Проект осуществляется при наличии высокой инфляции, поэтому денежные потоки, относящиеся к различным моментам времени, рассчитываются в номинальных ценах, т.е. с учетом не равной нулю инфляции. Следовательно, эти потоки необходимо привести к единой покупательной способности. Для этого используется *общий базисный индекс инфляции* $GJ(t) = P(t)/P(t_0)$, где $P(t)$ и $P(t_0)$ – стоимости продуктовой базы в текущий момент времени t и в начальный год t_0 ; $GJ(t)$ характеризует повышение цен (или снижение покупательной способности денег) на момент времени t от начального момента времени t_0 .

В проекте денежные потоки, относящиеся к разным моментам времени, выражены в разных деньгах, т.е. все значения $\pi_s(t)$, стоящие в числителе формулы NPV_k под знаком суммы, выражены в деньгах, обладающих разной покупательской способностью. Для того чтобы привести их к единой покупательной способности, что требуется при определении значения NPV , в котором

эффекты по годам (шагам) суммируются, необходимо разделить каждое значение $\pi_s(t)$ на базисный индекс инфляции $GJ(t)$ на том же шаге. С учетом переменной и меняющейся по шагам ставки дисконта для сценария k получаем

$$NPV^k = -K^k + \sum_{t=1}^T \frac{\pi^k(t)}{GJ(t) GE(t)} = -K^k + \sum_{s=1}^{M^k} \left\{ \left[\pi^k(s) / GJ^k(t_s^k) \right] / \prod_{s=1}^{M^k} (1 + E_s^k)^{\Delta_s} \right\}, \quad (8)$$

где t_{sk} – время окончания s шага по сценарию k ; $\pi_k(s)$ – сальдо шага s по сценарию k в масштабе конца шага s . Тогда ожидаемый расчетный годовой эффект от вложения в инвестиционный проект будет определяться по формуле

$$\mathfrak{E}_{\text{ср.год}}^p = (NPV^k + K^k) / \sum_{t=1}^T \frac{1}{GJ(t) \prod_{s=1}^{M^k} (1 + E_s^k)^{\Delta_s}} = \sum_{s=1}^{M^k} \frac{\pi^k(s) / GJ^k(t_s^k)}{\prod_{s=1}^{M^k} (1 + E_s^k)^{\Delta_s}} / \sum_{t=1}^T \frac{1}{GJ(t) GE(t)}, \quad (9)$$

где $\pi_k(s)$ – сальдо потока в номинальных ценах в конце шага s по сценарию k (при $t = t_s$); $GJ(s)$ – общий базисный индекс инфляции для временного интервала $[t_{s-1}; t_s]$; $GE(s)$ – для шага s коэффициент дисконтирования:

$$GE(s) = \prod_{t=0}^{t_s} (1 + E_t), \quad t \in [0, t_s], \quad GE(0) = 1; \quad \Delta t = 1,$$

t_s – момент времени, отвечающий концу шага s , E_s – соответствующая ему ставка дисконтирования.

Так как по принятому условию t_s кратно 1 году, то

$$GE(s) = (1 + E_0)(1 + E_1) \dots (1 + E_{s-1}) \dots (1 + E_{t_s})$$

при $s = 0, \dots, M$; E_t – годовая ставка дисконтирования для $t_s \in [0, t_M)$, причем $t_s = t_{s-1} + \Delta_s$, Δ_s – продолжительность в годах шага s .

Интегральный операционный эффект (с учетом инфляции и дисконтирования) на шаге s равен $I(s) = \pi(s) / [GJ(s)GE(s)]$. В частности, при $s = 1$ имеем

$$I(1) = \frac{\pi(1)}{GJ(1) GE(1)} = \frac{\pi(1)}{(1 + \nu_1)(1 + E_1)(1 + E_2)(1 + E_3)},$$

где ν_1 – темп инфляции при $t = 1$.

Учитывая, что продолжительность первого шага равна Δ лет, среднегодовой эффект $\mathfrak{E}_1^{\text{год}}$ на этом шаге находится из равенства $\sum_{t=1}^{\Delta_1} \frac{\mathfrak{E}_1^{\text{год}}}{GE(t)} = I(1)$, откуда

$$\mathfrak{E}_1^{\text{год}} = I(1) / \sum_{t=1}^{t=\Delta_1} GE(t)^{-1}. \quad (10)$$

Приведем пример, объясняющий понятие шага и года внутри шага. Пусть $T = 0, \dots, 10$; $s = 0, \dots, 5$;

$$GJ_0 = 1;$$

$$GJ_1 = 1 / [(1 + E_1)(1 + E_2)(1 + E_3)(1 + E_4)(1 + E_5)];$$

$$GJ_2 = 1 / [(1 + E_6)(1 + E_7)(1 + E_8)];$$

$$GJ_3 = 1 / [(1 + E_9)(1 + E_{10})].$$

Тогда ожидаемый среднегодовой эффект от вложения, согласно формуле (10), будет рассчитываться:

$$\mathfrak{E}_{\text{ср.год}}^{\text{P}} = \sum_{t=0}^T \frac{\pi(t) / GJ(t)}{1 / \prod_{t=0}^T (1 + E(t))} = \sum_{t=0}^T \frac{I(t)}{1 / \prod_{t=0}^T (1 + E(t))}. \quad (10')$$

В условиях нестационарной экономики полной информированности практически не бывает, так как нестационарность характеризуется плохой прогнозируемостью и недетерминированностью экономических процессов и показателей. Предположим, что на каждом шаге известен интервал, в котором находится денежный поток проекта. Зная интервальные значения, согласно принципу максимума энтропии Джейнса, можно задать вероятностное распределение, которое поможет получить больше информации, сохраняя максимум неопределенности. Зная функцию плотности вероятности и пределы изменения денежного потока $\pi_k(t)$ на каждом шаге, моделируем множество сценариев проекта для различных значений $\pi_k(t)$ как случайной величины. По ним считаем NPV_k и ожидаемый эффект для множества сценариев. Выбираем максимальное и минимальное значение ожидаемого эффекта и рассчитаем ожидаемый годовой эффект по формуле Гурвица:

$$\mathfrak{E}_{\text{ср.год}}^{\text{P}} = \lambda \mathfrak{E}_{\text{ср.год.макс}}^{\text{P}} + (1 - \lambda) \mathfrak{E}_{\text{ср.год.мин}}^{\text{P}}. \quad (11)$$

Сложнее дело обстоит с фондовым рынком. На фондовом рынке мы уже не можем пользоваться моделью Марковица–Тобина, так как она не учитывает особенностей, присущих нестационарной экономической системе. В этом случае нужно менять постановку задачи в части фондового рынка – берется для сравнения с проектом не оптимальный портфель ценных бумаг, а заданный или выбранный инвестором портфель. В этом случае инвестор сравнивает выгодность вложений в проекты и в портфель акций каких-нибудь компаний. Он не оптимизирует портфель ценных бумаг на фондовом рынке, он выбирает его самостоятельно, заранее определив, какие бумаги для него наиболее привлекательны.

Сформировав таким образом портфель, необходимо посчитать его доходность. Доходность портфеля будем считать взвешенной по объемам инвестиций доходностью каждого входящего в портфель актива (Мертенс, 1997, с. 115):

$$m_{\Phi}(t) = m_1(t)x_1(t) + \dots + m_n(t)x_n(t) = \sum_{i=1}^n m_i(t)x_i(t), \quad (12)$$

где $m_i(t)$ – доходность бумаги (акции) i в году t ; $x_i(t)$ – ее доля в заданном портфеле активов.

Интегральный (суммарный) ожидаемый реальный эффект приближенно (без учета дисконтирования) может быть рассчитан по формуле

$$\mathfrak{E}_{\text{ож. инт.}}^{\Phi} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \frac{Km_i(t)x_i(t)}{GJ(t)}, \quad (13)$$

где K – капитал, вкладываемый в каждую ценную бумагу; $x_i(t)$ – доля инвестиций капитала в ценной бумаге i ; $m_i(t)$ – доходность бумаги i в году t .

В тех же условиях формула (13) для расчета *среднегодового (недисконтированного) ожидаемого реального эффекта* примет вид

$$\mathfrak{E}_{\text{ож. год}}^{\Phi} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \frac{Km_i(t)x_i(t)}{GJ(t)}. \quad (14)$$

Отметим, что с учетом *дисконтирования* и *произвольного любого деления жизненного цикла* на временные точки (всего M шагов; длина шага s равна Δ_s лет, $\sum_{s=1}^M \Delta_s = T$; момент окончания шага s равен t_s , среднегодовая ставка дисконтирования – E_s) величина \mathfrak{E}'_s – это сумма за шаг s , подсчитанная в момент времени в конце этого шага при допущении равенства по годам ставки

дисконтирования в пределах каждого шага (т.е. допущенная для шага s $E_{s1} = E_{s2} = \dots = E_{\Delta_s}$). Тогда формулы (13) и (14) следует переписать в виде:

$$\begin{aligned} \Theta_{\text{ож.инт}}^{\prime\Phi} = & \frac{\Theta'_1 / GJ(t_1)}{(1 + E_1)^{\Delta_1}} + \dots + \frac{\Theta'_k / GJ(t_k)}{(1 + E_1)^{\Delta_1} (1 + E_2)^{\Delta_2} (1 + E_k)^{\Delta_k}} + \\ & + \frac{\Theta'_M / GJ(t_M)}{(1 + E_1)^{\Delta_1} \dots (1 + E_M)^{\Delta_M}}, \end{aligned} \quad (15)$$

где $\Theta'_s, s = 1, \dots, M$ – суммарная величина экономической прибыли за весь шаг s , рассчитанный в номинальных (прогнозных) ценах.

Более компактно величину интегрального (суммарного) эффекта с учетом дисконтирования по некоторому сценарию можно записать в виде

$$\Theta_{\text{ож.инт}}^{\prime\Phi} = \sum_{s=1}^{M^k} \Theta'_s / \left[GJ(t_s) \prod_{s=1}^{M^k} (1 + E_s)^{-\Delta_s} \right]. \quad (15')$$

Теперь перейдем к расчету нового показателя – величине *среднегодового ожидаемого эффекта*. Поставим для определения данного показателя два условия:

- 1) $\Theta_{\text{ож.год}}^{\prime\Phi}$ должен не зависеть от времени и шага;
- 2) расчет $\Theta_{\text{ож.год}}^{\prime\Phi}$ осуществляется по величине $\Theta_{\text{ож.инт}}^{\prime\Phi}$ по формулам (15) или (14').

Нетрудно заметить, что последнее условие $\Theta_{\text{ож.год}}^{\prime\Phi}$ находится из балансового уравнения

$$\Theta_{\text{ож.инт}}^{\prime\Phi} = \left(\sum_{s=1}^{M^k} \Delta_s \frac{\Theta_{\text{ож.год}}^{\prime\Phi}}{GJ(t_s)} \right) \prod_{s=1}^{M^k} (1 + E_s)^{-\Delta_s},$$

откуда получаем

$$\begin{aligned} \Theta_{\text{ож.год}}^{\prime\Phi} = & \frac{\Theta_{\text{ож.инт}}^{\prime\Phi}}{\sum_{s=1}^{M^k} \Delta_s / GJ(t_s)} \prod_{s=1}^{M^k} (1 + E_s)^{-\Delta_s} = \\ = & \sum_{s=1}^{M^k} \Theta'_s / \left[GJ_{t(s)} \prod_{s=1}^{M^k} (1 + E_s)^{-\Delta_s} \right] / \sum_{s=1}^{M^k} \Delta_s / \left[GJ_{t(s)} \prod_{s=1}^{M^k} (1 + E_s)^{-\Delta_s} \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

При учете риска и неопределенности на фондовом рынке мы будем опираться на теоретические результаты из (Смоляк, 2002), т.е. будем использовать формулу Гурвица (6), в которой в качестве наилучшего и наихудшего сценария примем наибольший и наименьший ожидаемый годовой эффект, вычисляемый по формуле $\Theta_{\text{год.мах}}^{\Phi}, \Theta_{\text{год.мин}}^{\Phi} = \Theta_{\text{год}}^{\Phi} \pm 3\sigma$, где σ рассчитывается как волатильность ожидаемого годового эффекта проекта.

По правилу Джейнса получаем вероятностное распределение, затем на основе этой информации моделируем сценарии проекта и множество различных значений годового эффекта для них. По этим значениям находим волатильность годового эффекта проекта и его риск (среднеквадратичное отклонение доходности):

$$\sigma_{\text{ср.год}}^{\text{р}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (\Theta_{\text{ср.год}}^{\text{р}k} - E(\Theta_{\text{ср.год}}^{\text{р}}))^2}, \quad (17)$$

где k – индекс рассматриваемого сценария. Подставляем полученные значения $\Theta_{\text{ср.год.мах}}^{\Phi}$ и $\Theta_{\text{ср.год.мин}}^{\Phi}$ в формулу Гурвица. Тогда общая формула годового эффекта портфеля с учетом риска имеет вид

$$\Theta_{\text{ож.год}}^{\Phi} = \lambda \Theta_{\text{год.мах}}^{\Phi} + (1 - \lambda) \Theta_{\text{год.мин}}^{\Phi} = \lambda \left(\Theta_{\text{год}}^{\Phi} + 3\sigma_{\text{ср.год}}^{\text{р}} \right) + (1 - \lambda) \left(\Theta_{\text{год}}^{\Phi} - 3\sigma_{\text{ср.год}}^{\text{р}} \right). \quad (18)$$

Сравнивая, таким образом, результаты, полученные по формулам (11) и (18), инвестор может выбрать наиболее эффективный способ инвестирования по максимуму годового эффекта.

В данном разделе был предложен способ решения проблемы оптимизации поведения инвестора на комбинированном рынке, включающем реальные и финансовые инвестиции. Мы рассмотрели важный частный случай, когда возможные инвестиции не дробятся, а целиком вкладываются либо в инвестиционный проект, либо в ценные бумаги фондового рынка. Проблема была также рассмотрена в разных ситуациях макроэкономического окружения – стационарной и нестационарной, причем для каждой ситуации с учетом ее специфики была сформулирована постановка задачи, создана формализованная модель и алгоритм их анализа в детерминированной и недетерминированной постановках. Предлагаемые методы позволяют определить, что эффективнее для инвестора – вкладывать капитал в проект или в инструмент фондового рынка.

4. ЕЩЕ ОДНО ОБОБЩЕНИЕ ЗАДАЧИ

В этом разделе хотелось бы привести несколько иной подход к решению задачи, основанный на принятом в микроэкономике кардиналистском подходе к изучению рыночных процессов. Как и ранее, будем предполагать, что инвестор, имея некоторый фиксированный капитал, может его полностью или по частям инвестировать в инвестиционные проекты или в элементы фондового рынка, реализуя при этом некоторый вариант инвестиционной политики, вкладывая часть капитала в проект или проекты, а остальное – в оптимальный портфель фондового рынка.

Дополнительно будем предполагать, что:

1) для любого решения инвестора существует и может быть определена полезность выбранного решения и инвестор, естественно, хочет ее максимизировать. Эта полезность представляет собой по существу суммарную системную полезность (по фондовому и реальному рынкам);

2) так как все допустимые решения инвестора связаны с инвестированием всего имеющегося у него капитала, его суммарные инвестиции по всем вариантам инвестиционной политики одинаковые и различаются лишь динамикой операционных затрат и доходов, т.е. суммой NPV по рынкам.

Алгоритмизировать процесс можно с помощью:

1) алгоритмов двухкритериальной оптимизации рассматриваемой инвестиционной системы (Гвишиани, Емельянов, 1978) (по критериям “максимум доходности” и “минимум риска”) с выделением множества решений, оптимальных в смысле Парето и других известных процедур такого анализа;

2) скалярных постановок максимизации системной полезности, известных по курсам микроэкономики в рамках кардиналистского подхода, опирающихся на свойство аддитивности полезности совокупности инвестиционных мероприятий на комбинированных рынках;

3) нестандартных специальных алгоритмов векторной оптимизации (алгоритма системного полного упорядочения при оценке ресурсной эффективности многокритериальных вариантов (Лившиц, 1984, с. 149–153) и др.).

Здесь также возникает много нерешенных вопросов, которые потребуют дополнительного анализа поведения инвестора на комбинированном рынке. Например, как формально количественно оценивать в задачах векторной оптимизации варианты с неравными и противоположными значениями конкурентных критериев (при существенно большем эффекте и существенно большем риске). Данный раздел можно рассматривать как не заверченный, а как, возможно, еще одно направление анализа поведения инвестора на рынке, которое предстоит исследовать в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айзин К.И., Лившиц В.Н.** (2006). Риск и доходность ценных бумаг на фондовых рынках стационарной и нестационарной экономики // *Аудит и финансовый анализ*. Т. 4. С. 195–199.
- Бернштейн У.** (2004). Как построить свой портфель, чтобы максимизировать прибыль и минимизировать риск. Разумное распределение активов. М.: Лори.
- Бернштейн У.** (2014). Манифест инвестора. Готовимся к потрясениям, процветанию и всему остальному. М.: Альпина Паблшер, Альпина Бизнес Букс.
- Виленский П.Л., Лившиц В.Н.** (2010). Инвестиционный анализ. Учебно-методическое пособие для слушателей программы МВА, обучающихся по специальностям “Стратегический менеджмент” и “Финансы”. М.: Государственный университет – Высшая школа экономики, Высшая школа менеджмента, Бизнес Элайнмент.
- Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.** (2015). Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика. М.: ПолиПринтСервис.
- Гвишиани Д.М., Емельянов С.В.** (1978). Многокритериальные задачи принятия решений. М.: Машиностроение.
- Зубов М.** (2016). Самый точный прогнозист. Руслан Гринберг: “Правительство не хочет вкладывать деньги в проекты, чтобы их не украли. Но риски от бездействия – еще больше” // *Московский комсомолец*. 26 февраля. С. 4.
- Известия (2015). Конкурс прогнозистов выиграли аналитики MorganStanley // *Известия*. 30 декабря.
- Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г.** (2000). Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Министерство экономики РФ, Министерство фин. РФ, ГК по строительству, архит. и жил. политике; руководители авторского коллектива. М.: Экономика.
- Курманова С.М., Курманова Ю.М.** (2012). Оптимизация поведения инвестора на комбинированном рынке // *Экономический анализ: теория и практика*. № 22 (277).
- Левит Б.Ю., Лившиц В.Н.** (1972). Нелинейные сетевые транспортные задачи. М.: Транспорт.
- Лившиц В.Н.** (1971). Выбор оптимальных решений в технико-экономических расчетах. М.: Экономика.
- Лившиц В.Н.** (1984). Оптимизация при перспективном планировании и проектировании. М.: Экономика.
- Лившиц В.Н.** (2013). Системный анализ рыночного реформирования нестационарной экономики России: 1992–2013. М.: ЛЕНАНД.
- Лившиц В.Н., Лившиц С.В.** (2010) Системный анализ нестационарной экономики России (1992–2009): рыночные реформы, кризис, инвестиционная политика. М.: ПолиПринтСервис.
- Лурье А.Л.** (1973). Экономический анализ моделей планирования социалистического хозяйства. М.: Наука.
- Мертенс А.В.** (1997). Инвестиции: курс лекции по современной финансовой теории. XVI. Киев: Киевское инвестиционное агентство.
- Первозванский А.А., Первозванская Т.Н.** (1994). Финансовый рынок: расчет и риск. М.: Инфра-М.
- Петерс Э.** (2000). Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка. М.: Мир.
- Прохоров Ю.В.** (1988). Математический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия.
- Смоляк С.А.** (2002). Оценка эффективности инвестиционных проектов в условиях риска и неопределенности (теория ожидаемого эффекта). М.: Наука.
- Смоляк С.А.** (2006). Дисконтирование денежных потоков в задачах оценки эффективности инвестиционных проектов и стоимости имущества. М.: Наука.
- Тарасенко Ф.П.** (1963). Введение в курс теории информации. Томск: Томский университет.
- Трубицын А.В.** (2013). РЭП: Модели и перспективы. В сб.: “*Научные доклады Института экономики РАН*”. М.: ИЭ РАН.

- Юдина И.** (2004). Поведение инвестора: рациональное versus иррациональное. В сборнике научных трудов: “Информационная экономика и управление динамикой сложных систем”. Вып. IV. Е.Ю. Иванова, Р.М. Нижегородцева (ред.). М., Барнаул: Бизнес-Юнитек.
- Fama E.F.** (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work // *Journal of Finance*. Vol. 25(2). P. 383–417.

Поступила в редакцию 28.03.2016.

REFERENCES (with English translation or transliteration)

- Ajzin K.I., Livchits V.N.** (2006). The Risk and Return of Securities on the Stock Markets on Stationary and Non-Stationary Economy. *Audit and Financial Analysis* 4, 195–199 (in Russian).
- Bernstein W.** (2004). The Intelligent Asset Allocator. How to Build Your Portfolio to Maximize Returns and Minimize Risk. Moscow: Lori (in Russian).
- Bernstein W.** (2014). The Investor’s Manifesto: Preparing for Prosperity, Armageddon, and Everything in Between. Moscow: Al’pina Publisher / Al’pina Biznes Buks (in Russian).
- Fama E.F.** (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *Journal of Finance* 25(2), 383–417.
- Gvishiani D.M., Emel’yanov S.V.** (1978). Multi-Criteria Decision-Making Tasks. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
- Izvestiya** (2015). The Competition of Forecaster Has Won Analysts from MorganStanley. *Izvestiya* 30 декабря (in Russian).
- Kossov V.V., Livchits V.N., Shaxnazarov A.G.** (2000). Methodical Recommendations on Evaluation of Investment Projects Efficiency. The Ministry of economy of the Russian Federation, the Ministry of Finance of the Russian Federation, the State Committee for construction, architectural and housing policy; the leaders of the group of authors. Moscow: E’konomika (in Russian).
- Kurmanova S.M., Kurmanova Ju.M.** (2012). Optimization of Investor’s Behavior on the Mixed Market. *Economic Analysis: Theory and Practice* 22(277), 16–22 (in Russian).
- Levit B.Y., Livchits V.N.** (1972). Nonlinear Network Transport Problems. Moscow: Transport, 1–144 (in Russian).
- Livchits V.N.** (1971). The Choice of Optimal Solutions in Technical-Economic Calculations. Moscow: E’konomika (in Russian).
- Livchits V.N.** (1984). The Optimization in Long-Term Planning and Design. Moscow: E’konomika (in Russian).
- Livchits V.N.** (2013). System Analysis of Market Reforms in the Non-Stationary Economy of Russia: 1992–2013. Moscow: LENAND (in Russian).
- Livchits V.N., Livchits S.V.** (2010). System Analysis of Non-Stationary Economy of Russia (1992–2009): Market Reforms, Crisis, Investment Policy. Moscow: Poli Print Servis (in Russian).
- Lur’e A.L.** (1973). Economic Analysis of the Planning Models of a Socialist Economy. Moscow: Nauka (in Russian).
- Mertens A.V.** (1997). Investments: Lectures on Modern Financial Theory. XVI. Kiev: Kievskoe investicionnoe agentstvo (in Russian).
- Pervozvanskij A.A., Pervozvanskaya T.N.** (1994). Financial Market: Calculation and Risk. Moscow: Infra-M (in Russian).
- Peters E’.** (2000). Chaos and Order in the Capital Markets. A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility. Moscow: Mir (in Russian).
- Prokhorov Yu.V.** (1988). Mathematical Encyclopedic Dictionary. Moscow: Sovetskaya e’nciklopediya (in Russian).
- Smolyak S.A.** (2002). Assessment of Efficiency of Investment Projects in Conditions of Risk and Uncertainty (Theory Expected Effect) Moscow: Nauka (in Russian).
- Smolyak S.A.** (2006). Discounting Cash Flows in the Evaluation of Efficiency of Investment Projects and Value of the Property. Moscow: Nauka (in Russian).
- Tarassenko F.P.** (1963). Introduction to Information Theory. Tomsk: Tomskij universitet (in Russian).

- Trubitsin A.V.** (2013). Rational Economic Behavior: Models and Prospects. Moscow: RAS Institute of Economy (in Russian).
- Vilenskij P.L., Livchits V.N.** (2010). The Investment Analysis. Textbook for Students of MBA Program, Students Majoring in “Strategic Management” and “Finance”. Moscow: Gosudarstvennyj universitet – Vysshaya shkola e’konomiki, Vysshaya shkola menedzhmenta, Biznes E’lajnmnt (in Russian).
- Vilenskij P.L., Livchits V.N., Smolyak S.A.** (2015). Evaluation of Investment Projects Efficiency: Theory and Practice. Moscow: PoliPrintServis (in Russian).
- Yudina I.** (2004). Investor Behavior: Rational Versus Irrational. In the collection of scientific works “Information Economics and Management Dynamics of Complex Systems”. Issue IV. E.Yu. Ivanova, R.M. Nizhegorodceva (eds.). Moscow, Barnaul: Biznes-Yunitex (in Russian).
- Zubov M.** (2016). Ruslan Grinberg is the Most Accurate Forecaster: “The Government Does Not Want to Invest Money in Projects That They Are Not Stolen. But the Risks of Inaction is Even Greater”. *Moskovskij komsomolec* 26 February, 4 (in Russian).

Received
28.03.2016

MODELING OF INVESTOR’S BEHAVIOR ON COMBINED MARKET: FROM SPECIFIC TO GENERAL

Yu.M. Kurmanova⁹

Abstract. The article is devoted to a very important problem – increase of effectiveness of investment strategy. Directly considered the optimization problem of investor’s behavior on combined market representing as total real and financial markets. The author analyses different types of scenario – from specific to general, and offers a classification of problems depending on investment direction. The author also proposes methods for addressing the problem in the conditions of stationary and non-stationary macro-economic environment. Developed the new specific formulation of problem and presented the decision algorithm depending on macro-economic environment. The paper introduces the problem-solving recommendations for general problem description. New elements are introduced, for example, the decision making using maximization criteria of the two values, defined as selection criterion – the indicator of the effect, which are calculated depending on type of investments for the accounting period; aligned the level of risk in considered segments of combined market for guaranteeing the correct selection. Proposed are the methods for problem solving for stationary and unstable macroeconomic environment concerning risks and uncertainty. Provided the new special problem and algorithm for its decision in a special type of economic environment. Author proposes an algorithm for general problem solving.

Keywords: combined market, stationary economic, non-stationary economy, investment strategy, investment, investor’s behavior, optimization, efficiency criterion.

JEL Classification: C02, G02, G11, G17.

⁹**Yulia M. Kurmanova** – Post-graduate student, economist, Federal research institution “Informatics and Management”, RAS; Institute of System Analysis, Moscow; fo-daxa07@mail.ru.