

[DOI: 10.17323/2587-814X.2021.4.7.21](https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.4.7.21)

Роботизированное формирование инвестиционного портфеля на российском облигационном рынке на основе модифицированной стратегии скольжения по кривой доходности*

Е.А. Коробов^a 

E-mail: korobovea@yandex.ru

Ю.В. Семернина^b 

E-mail: ysemernina@yandex.ru

А.С. Усманова^b 

E-mail: alina.brosalova@yandex.ru

К.А. Одиноква^b 

E-mail: odinokova.kristina93@mail.ru

^a Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
Адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

^b Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина
Адрес: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77

Аннотация

Современное состояние глобального рынка долговых ценных бумаг характеризуется исторически низким средним уровнем процентных ставок, тенденциями по выравниванию доходностей облигаций с разными сроками до погашения, возрастанием частоты возникновения инверсии кривой процентных ставок и масштабным трендом автоматизации принятия финансовых решений. Внимание исследователей в данной сфере сосредоточено на построении моделей, описывающих состояние долгового рынка в целом или отдельных его инструментов, а также на управлении рисками. При этом в профильной литературе крайне мало работ затрагивает тематику компьютерных алгоритмов формирования облигационных портфелей, базирующихся на традиционных или современных инвестиционных стратегиях. Цель данного исследования состоит в модификации алгоритма применения стратегии скольжения по кривой доходности, действующего, во-первых, среднюю доходность облигаций за период инвестирования вместо традиционной доходности облигаций к погашению, во-вторых, разработанный алгоритм расчета рыночного спреда по облигациям и, в-третьих, альтернативные показатели оценки рисков (коэффициенты компенсации), позволяющие объективно оценить ценовой риск, риск ликвидности и риск транзакционных издержек, а также

* Статья опубликована при поддержке Программы НИУ ВШЭ «Университетское партнерство»

общий риск. Модификация стратегии скольжения по кривой доходности и разработка алгоритма расчета рыночного спреда осуществлялись с использованием метода прямого измерения результата, предполагающего применение рассматриваемой стратегии к данным по облигационным выпускам российских эмитентов долгового рынка Московской биржи. Отбор финансовых инструментов осуществлялся во всех сегментах российского облигационного рынка: государственных облигаций, субфедеральных и муниципальных облигаций, корпоративных облигаций. Модифицированный алгоритм позволил получить дополнительную доходность по каждому из отобранных облигационных выпусков, что свидетельствует о высокой эффективности разработки в сравнении с традиционной стратегией. Программные реализации этого алгоритма могут быть интегрированы в любые роботизированные и полуроботизированные биржевые торговые приложения.

Ключевые слова: модифицированная стратегия скольжения по кривой доходности; роботизированное формирование облигационного портфеля; алгоритм расчета рыночного спреда по облигациям; коэффициенты компенсации; ценовой риск облигации; риск ликвидности облигации; риск транзакционных издержек облигации; общий риск облигации; инвестиционные программные приложения.

Цитирование: Коробов Е.А., Семернина Ю.В., Усманова А.С., Одиноква К.А. Роботизированное формирование инвестиционного портфеля на российском облигационном рынке на основе модифицированной стратегии скольжения по кривой доходности // Бизнес-информатика. 2021. Т. 15. № 4. С. 7–21. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.4.7.21

Введение

Развитие финансовых технологий и финансовых рынков в последние десятилетия привело к тому, что на сегодняшний день практически все решения о покупке или продаже финансовых инструментов осуществляются через специализированные электронные приложения. Программная архитектура последних во многом определяется теми финансовыми задачами, которые ставит перед собой участник рынка. Такие спекулятивные стратегии, как скальпинг, интрадей- или свинг-трейдинг сегодня реализуются, главным образом, путем создания торговых роботов для высокочастотной торговли. Участие человека при принятии решения о покупке или продаже того или иного финансового инструмента, в этом случае, хотя и может присутствовать, но обычно сведено к минимуму.

Воплощение инвестиционных стратегий на рынке сегодня предполагает работу трех типов программных систем:

- ◆ полностью роботизированных приложений, исключающих участие человека (первый тип);
- ◆ полуроботизированных комплексов, когда программа формирует варианты инвестирования, а человек принимает решение о реализации того или иного варианта (второй тип);
- ◆ нероботизированных систем, в которых и весь финансовый анализ, и принятие решения осуществляет сам инвестор (третий тип).

Все три типа инвестиционных приложений активно развивались в последние годы. Так к первому виду программ можно отнести набирающие популярность после финансового кризиса 2008 года робо-эдвайзеры, работающие с использованием искусственных нейронных сетей и разветвленных графовых моделей принятия решений. Алгоритмы их работы [1–4], базирующиеся на классических принципах портфельного инвестирования Г. Марковица, У. Шарпа и Дж. Тобина, показали свою эффективность в условиях растущего рынка в период с февраля 2009 г. по февраль 2020 г. «Черный лебедь» в виде обвала фондовых индексов в марте 2020 г. привел к тому, что многие финтех-провайдеры были вынуждены перевести работу своих робо-эдвайзеров в ручной режим управления, что лишний раз свидетельствует об ограничениях применимости систем искусственного интеллекта для принятия финансовых решений.

К полуроботизированным инвестиционным приложениям можно, например, отнести торговые системы, в которых инвестор совершает сделки на основе данных, полученных от интегрированного скринера, работающего с такими инструментами, как акции, биржевые ПИФы, ЕТФ, облигации и т.д. «Интеллектуальность» скринеров обычно сводится к расчету основных экономических показателей финансового инструмента или организации-эмитента и их фильтрации по заданному критерию.

К нероботизированным приложениям относится большинство торговых терминалов, предостав-

ляемых биржевыми брокерами и банками своим клиентам для совершения сделок на финансовом рынке.

Все вышеизложенные тенденции приходится принимать во внимание, в первую очередь, таким институциональным инвесторам, как паевые инвестиционные фонды, а также более консервативным участникам рынка – коммерческим банкам, государственным и негосударственным пенсионным фондам, страховым компаниям и некоторым частным инвесторам, перед которыми стоит задача формирования низкорискованных портфелей финансовых активов. Львиную долю вложений в таких портфелях, как правило, составляют государственные и корпоративные облигации. Одной из возможных универсальных стратегий отбора финансовых инструментов на облигационном рынке является стратегия скольжения по кривой доходности.

В современной российской научной литературе активные стратегии инвестирования на облигационном рынке практически не анализируются и, тем более, не модифицируются. Наиболее распространенным подходом к инвестированию на облигационном рынке является применение стратегии «купи и держи» («buy and hold»), что, в частности, в определенной степени прослеживается в работах Н.Ф. Коробова и А.А. Белоглазова [5], А.А. Пономарева [6], Н.В. Поповой [7], П.А. Лашевского [8], И.А. Дарушина [9], А.Н. Задорожной [10], В.В. Назаровой и И.П. Левичева [11], И.А. Фрейдиной [12], М.В. Фомина, Ю.В. Лахно и А.П. Пышногряя [13] и других авторов.

Некоторые исследователи затрагивают проблематику формы кривой процентных ставок (кривой доходности облигаций), однако они не рассматривают ее использование в рамках стратегии скольжения по кривой доходности (например, подобный подход характерен для работ А.Ю. Михайлова [14], А.Н. Буренина [15], С.В. Бешенова и В.А. Лапшина [16]).

Непосредственно стратегия скольжения по кривой доходности в специализированной отечественной финансово-экономической литературе практически не рассматривается, а в зарубежной литературе ее наиболее полное описание представлено в фундаментальных работах Ф.Дж. Фабоцци [17–19]. Также развернутое рассмотрение данной стратегии с анализом ее практического использования можно найти в работах В. Гальвани и С. Лэндона [20], Д. Биери и Л. Чинкарини [21], Р. Кокса и Дж. Фелтона [22], З. Вей, В. Ксианхуа и В. Гуофу [23].

Оценка эффективности применения стратегии скольжения по кривой доходности в условиях низких процентных ставок представлена в исследовании Международного валютного фонда [24].

Компьютерные модели формирования и оценки облигационных портфелей в работах отечественных и зарубежных исследователей представлены также достаточно скудно. К российским работам по данной тематике можно отнести публикации [25, 26].

Выбор стратегии скольжения по кривой доходности в качестве объекта роботизации обусловлен одновременным сочетанием двух факторов: с одной стороны, в условиях низких процентных ставок и инвертированного характера кривой доходности данная стратегия (при условии достаточного кредитного качества эмитентов облигаций) обладает определенной «устойчивостью» к характерным для этого рынка рискам, прежде всего, к риску роста процентных ставок, вероятность реализации которого при текущей рыночной конъюнктуре объективно достаточно высока (особенно при применении стратегии на коротком участке кривой доходности), а, с другой стороны, она относится к группе формализуемых инвестиционных стратегий, что позволяет сформировать однозначные алгоритмы ее автоматизации. Кроме того, стратегия скольжения по кривой доходности доступна не только институциональным, но и частным инвесторам, отличительной особенностью которых является незначительный объем инвестиционного портфеля, априори предполагающий ограниченный уровень его диверсификации (в разрезе отдельных облигационных выпусков).

Исходным условием, определяющим возможность применения данной стратегии, является наличие положительной разницы между доходностью облигаций с большим сроком до погашения и доходностью облигаций с меньшим сроком до погашения (по сути, речь идет о наличии «классического» восходящего наклона кривой доходности облигаций). В качестве дополнительных условий ее применения необходимо отметить достаточный уровень рыночной ликвидности облигационного выпуска и адекватный уровень транзакционных издержек.

В настоящее время в условиях глобального снижения среднего уровня процентных ставок происходит «сближение» доходностей облигаций с разными сроками до погашения (минимизация разницы в доходности облигаций на разных участках кривой), а частота возникновения инверсии

кривой доходности облигаций значительно возрастает. Данные тенденции приводят к потребности в трансформации подхода к рассмотрению стратегии скольжения по кривой доходности: ее применение в классической интерпретации сопряжено с принятием инвесторами повышенного риска процентных ставок, риска ликвидности и риска транзакционных издержек, при этом получаемая доходность в общем случае не «компенсирует» принятия перечисленных рисков.

Целью данного исследования является создание модификации традиционного алгоритма применения стратегии скольжения по кривой доходности, учитывающей форму кривой процентных ставок, а также разработка автоматизированного алгоритма расчета рыночного спреда на российском облигационном рынке, позволяющего корректно оценить принимаемый инвесторами риск ликвидности. Полученные алгоритмы можно будет использовать в инвестиционных приложениях первого и второго типа.

1. Методы

Модификацию стратегии скольжения по кривой доходности и разработку автоматизированного алгоритма расчета рыночного спреда предполагается осуществлять с использованием метода прямого измерения результата. Этот метод подразумевает применение модифицированной стратегии скольжения по кривой доходности к реальным данным (на основе информации, полученной с российского биржевого рынка облигаций на конкретный момент времени – «рыночный срез» на конкретную дату) и не предполагает построения предсказательных, описательных или имитационных моделей в отношении отечественного облигационного рынка в целом или его отдельных сегментов в частности.

Данный метод применяется, исходя из следующих предположений:

1. издержки инвесторов при приобретении и продаже облигаций включают два вида комиссий (комиссию биржи и комиссию брокера, прочие виды издержек не учитываются);
2. облигации включаются в инвестиционный портфель в течение одной торговой сессии;
3. в качестве расчетных цен приобретения и/или продажи облигаций рассматриваются цены закрытия соответствующей торговой сессии вне зависимости от объема совершенных сделок, при этом в случае отсутствия реальных сделок в те-

чение торговой сессии облигационный выпуск признается не обладающим достаточным уровнем ликвидности и не включается в состав облигационного портфеля (критерий одной сделки);

4. при расчете показателей доходности по облигационным выпускам учитывается накопленный купонный доход на момент совершения соответствующей сделки;
5. кредитное качество эмитентов облигаций принимается неизменным в течение всего анализируемого периода (в рамках проводимых расчетов оно отдельно не оценивается и не анализируется).

Предлагаемая модификация стратегии скольжения по кривой доходности подразумевает использование:

1. средней доходности облигаций за период инвестирования вместо традиционной доходности облигаций к погашению;
2. разработанного авторского алгоритма расчета рыночного спреда по облигациям;
3. альтернативных показателей оценки рисков (коэффициенты компенсации), позволяющих объективно оценить ценовой риск, риск ликвидности и риск транзакционных издержек, а также общий риск.

Предложенные в рамках рассматриваемой модификации количественные показатели являются универсальными для облигационного рынка и могут быть применены в отношении любых купонных и дисконтных облигаций. Обобщающий характер используемых показателей обусловлен выбранным подходом к их построению: при их расчете используются фиксированные параметры облигационных выпусков, как правило, определяемые в момент эмиссии последних, данные о рыночных сделках с облигациями и их рыночных котировках, а также информация о времени владения облигациями (периоде инвестирования).

При использовании стратегии скольжения по кривой доходности в рамках традиционного подхода предполагается применение классической формулы для расчета доходности облигаций к погашению:

$$Y_M = \frac{(P_S - P_P)}{P_P} \cdot \frac{365}{t_M} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где Y_M – доходность облигаций к погашению;

P_S – цена продажи или цена погашения облигаций;

P_P – цена приобретения облигаций;

t_M – количество дней, оставшихся до погашения облигаций.

Необходимо подчеркнуть, что для классического варианта стратегии скольжения по кривой доходности обязательным является строгое неравенство:

$$Y_{LT} > Y_{ST}, \quad (2)$$

где Y_{LT} – доходность к погашению облигаций с большим сроком до погашения;

Y_{ST} – доходность к погашению облигаций с меньшим сроком до погашения.

Кроме того, дополнительно должно соблюдаться еще одно строгое неравенство:

$$Y_M > Y_E, \quad (3)$$

где Y_E – требуемая (ожидаемая) доходность инвестирования.

В рамках рассматриваемой модификации стратегии скольжения по кривой доходности предлагается ориентироваться на альтернативный показатель – доходность за период владения облигациями, что обусловлено наличием у инвесторов объективной возможности продать облигации, не дожидаясь их погашения. Расчет данного показателя осуществляется по следующей формуле:

$$Y_{t_H} = \frac{(P_S + C_S + \sum_{i=1}^n C_{R_i} - P_P - C_P - \sum_{j=1}^k T_j)}{P_P + C_P} \cdot \frac{365}{t_H} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где Y_{t_H} – доходность за период владения облигациями;

C_S – накопленный купонный доход на момент продажи облигаций;

C_{R_i} – выплаченный эмитентом купонный доход за соответствующий купонный период (при условии наличия таких выплат за период владения облигациями);

n – общее количество купонных периодов по облигациям;

C_P – накопленный купонный доход на момент покупки облигаций;

T_j – величина транзакционных издержек;

k – общее количество видов транзакционных издержек;

t_H – количество дней владения облигациями.

В отличие от традиционного подхода показатель доходности за период владения облигациями необходимо рассчитывать регулярно, к примеру, по итогам каждой торговой сессии, а не только в момент приобретения облигаций. Такой подход изна-

тельно подразумевает более высокий уровень торговой активности инвесторов по сравнению с традиционным.

Для оценки эффективности модифицированной стратегии скольжения по кривой доходности целесообразно использовать показатель средней доходности за период инвестирования, учитывающей как периоды владения отдельными облигационными выпусками, так и периоды отсутствия позиций по облигациям:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{l=1}^m Y_{t_{H_l}} t_{H_l} + \sum_{q=1}^v Y_{t_{0_q}} t_{0_q}}{\sum_{l=1}^m t_{H_l} + \sum_{q=1}^v t_{0_q}}, \quad (5)$$

где \bar{Y} – средняя доходность за период инвестирования;

$Y_{t_{H_l}}$ – доходность за l -й период владения облигациями (период наличия позиций по облигациям);

m – количество периодов владения облигациями;

$Y_{t_{0_q}}$ – доходность за период отсутствия позиций по облигациям (например, за счет размещения средств на денежном рынке);

t_{0_q} – длительность периода отсутствия позиций по облигациям;

v – количество периодов отсутствия позиций по облигациям.

Концептуально важно заметить, что для модифицированной стратегии скольжения по кривой доходности соотношение между доходностями облигаций разной длительности приобретает вид:

$$Y_{LT} \geq Y_{ST}. \quad (6)$$

Таким образом, предлагаемая модифицированная стратегия является результативной даже в условиях «плоской» кривой доходности облигаций.

В свою очередь для оценки ценового риска предлагается использовать изменение рыночной цены облигации при росте процентных ставок на 1%:

$$\Delta_+ = |P_{S_{Y+1\%}} - P_P|, \quad (7)$$

где Δ_+ – изменение рыночной цены облигации при росте процентных ставок на 1%;

$P_{S_{Y+1\%}}$ – рыночная цена облигации при росте процентных ставок на 1%.

Значение $P_{S_{Y+1\%}}$ рассчитывается на основании формулы (4) путем подбора такого численного значе-

ния этого показателя, при котором значение доходности облигации увеличится ровно на 1% ($Y_{M+1\%}$). Это позволяет получить точные результаты (в абсолютном выражении), что является основным преимуществом данного показателя по сравнению, к примеру, с использованием классической или модифицированной дюрации, которая является, как минимум, менее точной. В общем случае она предполагает приближенный расчет величины купонной ставки; не учитывает ежедневного начисления накопленного купонного дохода; не принимает во внимание его выплату по окончании купонного периода или уплату покупателем в момент продажи облигаций; предполагает полную симметричность изменений цен облигаций как в условиях роста, так и в условиях снижения процентных ставок (последняя проблема в определенной степени может быть решена за счет использования показателя выпуклости облигаций, однако в условиях ограниченной ликвидности данный показатель обладает ограниченной репрезентативностью).

В качестве показателя риска, учитывающего начисление текущих доходов по облигациям, предлагается применять авторский коэффициент компенсации ценового риска, определяемый по формуле:

$$K_{CP} = \frac{\Delta_+}{C_D}, \quad (8)$$

где K_{CP} – коэффициент компенсации ценового риска;

C_D – величина купона, начисляемого ежедневно.

Значение коэффициента компенсации ценового риска может быть интерпретировано как точное количество дней, за которое величина начисляемого по облигациям купона полностью компенсирует расчетное снижение цены облигаций (от их текущих рыночных цен) при росте среднего уровня процентных ставок на 1%.

Еще одним индикатором, позволяющим оценить уровень риска, принимаемого инвесторами на облигационном рынке, выступает коэффициент компенсации риска ликвидности, рассчитываемый по формуле:

$$K_{CL} = \frac{\bar{S}}{C_D}, \quad (9)$$

где K_{CL} – коэффициент компенсации риска ликвидности;

\bar{S} – средняя величина рыночного спреда по облигационному выпуску.

Значение коэффициента компенсации риска ликвидности предлагается интерпретировать как количество дней, за которое величина начисляемого по облигациям купона полностью компенсирует величину среднего рыночного спреда по облигациям.

Средняя величина рыночного спреда (в абсолютном или относительном выражении) за определенный период времени объективно отражает уровень ликвидности облигаций и является более репрезентативной по сравнению с традиционно используемым спредом на конкретный момент времени (как правило, на момент открытия позиции по облигациям). Дело в том, что средняя величина рыночного спреда учитывает каждое изменение рыночных котировок облигаций (как котировок на покупку, так и котировок на продажу) в ходе рыночных торгов, то есть она отражает среднюю фактически наблюдаемую разницу между ними. Безусловным преимуществом данного показателя является возможность его систематического расчета, особенно если средний спред вычисляется за достаточно продолжительный временной интервал (например, месяц).

Традиционно используемый рыночный спред, рассчитываемый на конкретный момент времени, обладает двумя серьезными недостатками: во-первых, он не всегда может быть определен (в частности, при полном отсутствии котировок на покупку или котировок на продажу облигаций), и, во-вторых, значение рыночного спреда на конкретный момент времени может значительно отклоняться от его средних значений в любую сторону.

Кроме того, классический вариант расчета рыночного спреда в абсолютном выражении обычно не учитывает объема лучших выставленных заявок на покупку и продажу облигаций, т.е. спред «механически» рассчитывается как разница между лучшей заявкой на продажу и лучшей заявкой на покупку по следующей формуле:

$$S_M = B_S - B_P, \quad (10)$$

где S_M – рыночный спред по облигационному выпуску в конкретный момент времени;

B_S – цена лучшей заявки на продажу по облигационному выпуску на конкретный момент времени;

B_P – цена лучшей заявки на покупку по облигационному выпуску на конкретный момент времени.

Широкое распространение такого подхода связано с тем, что на практике корректный расчет средней величины рыночного спреда «вручную» является чрезвычайно сложной и трудоемкой задачей,

в частности, её решение предполагает регулярный мониторинг инвестором рыночного стакана котировок по каждому облигационному выпуску, фиксацию происходящих в них изменений и расчет рыночного спреда по каждому облигационному выпуску в конкретный момент времени. При формировании диверсифицированного облигационного портфеля данная задача объективно является невыполнимой без использования автоматизированных алгоритмов.

В рамках данного исследования был разработан и реализован на языке Lua в интеграции с торговым терминалом QUIK (Quickly Updatable Information Kit – «быстро обновляемый информационный пакет») алгоритм расчета рыночного спреда по облигационным выпускам, предполагающий выполнение следующих шагов:

1. отбор облигационных выпусков в пользовательском режиме (на этом этапе инвестор может выбрать произвольный перечень облигационных выпусков эмитенты которых удовлетворяют его с точки зрения кредитного качества; прочие критерии формирования данного перечня облигационных выпусков могут быть заданы произвольно);
2. настройка периода фиксации рыночных котировок выбранных облигационных выпусков (по умолчанию задается полная продолжительность основной торговой сессии, при необходимости – может быть изменена произвольно);
3. настройка условий фиксации рыночных котировок выбранных облигационных выпусков (по умолчанию – только при одновременном наличии рыночных котировок на покупку и на продажу облигаций; при необходимости – при наличии рыночных котировок на покупку облигаций, при наличии рыночных котировок на продажу облигаций и постоянная фиксация);
4. запись рыночных котировок в информационной системе (осуществляется в специализированном регистре, созданном в информационной базе);
5. выбор периода расчета рыночного спреда (по умолчанию равен 20 торговым дням; при необходимости – может быть установлен произвольно);
6. расчет среднего рыночного спреда по облигационному выпуску для выбранного периода, осуществляемый по формуле:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{l=1}^w S_{M_l} t_l}{\sum_{l=1}^w t_l}, \quad (11)$$

где w – количество периодов ценовой стабильности рыночных котировок облигаций (в течение этого периода величина рыночного спреда остается неизменной);

S_{M_l} – значение рыночного спреда в течение l -го периода ценовой стабильности рыночных котировок облигаций;

t_l – продолжительность периода ценовой стабильности рыночных котировок облигаций (рассчитывается с точностью до 1 секунды);

7. вывод рассчитанных значений среднего рыночного спреда в отчет (форма отчета – настраивается в пользовательском режиме).

Использование критерия одной сделки в сочетании с применением разработанного алгоритма позволяет намного точнее оценивать риск ликвидности, характерный для облигационного выпуска при использовании стратегии скольжения по кривой доходности.

С позиции автоматизации основным преимуществом предложенного алгоритма фиксации и последующего расчета рыночного спреда по облигациям является регулярное получение объективной информации о средней фактической (реально наблюдаемой) величине рыночного спреда по обращающимся облигационным выпускам и, при необходимости, формирование массива исторических данных о его величине, что, в конечном счете, позволяет значительно точнее охарактеризовать уровень ликвидности облигационных выпусков, рассматриваемых в качестве потенциальных инструментов инвестирования.

Дополнительным индикатором, отражающим уровень принимаемого инвесторами риска, выступает коэффициент компенсации транзакционных издержек K_{CT} :

$$K_{CT} = \frac{\sum_{j=1}^k T_j}{C_D}. \quad (12)$$

Экономическая интерпретация данного показателя в значительной степени аналогична предыдущим: он показывает количество дней, за которое величина начисляемого по облигациям купона, полностью компенсирует величину транзакционных издержек, которые несет инвестор при совершении сделок на облигационном рынке.

На основании перечисленных выше показателей можно вычислить общий коэффициент компенсации K_{CG} :

$$K_{CG} = K_{CP} + K_{CL} + K_{CT}. \quad (13)$$

Данный показатель позволяет получить представление о том, за какой период (количество дней) величина начисляемого по облигациям купона полностью компенсирует ценовой риск и риск ликвидности, а также величину транзакционных издержек. В общем случае, чем больше значение всех перечисленных выше коэффициентов компенсации, тем выше уровень принимаемого инвесторами риска, и наоборот.

Очевидно, что в рамках модифицированной стратегии скольжения по кривой доходности оптимальными являются максимизация средней доходности за период инвестирования и минимизация общего коэффициента компенсации.

2. Результаты

Применение метода прямого измерения результата в отношении модифицированной стратегии

скольжения по кривой доходности было осуществлено на российском биржевом облигационном рынке по состоянию на 30 июня 2020 г.

Облигационный портфель формируется при требуемом (ожидаемом) уровне доходности, равном 7,00% годовых на 90 дней.

В качестве объектов инвестирования рассматриваются облигационные выпуски с датой погашения, находящейся в интервале с 13 по 27 декабря 2020 года. Отбор облигационных выпусков осуществляется во всех сегментах российского облигационного рынка: государственные облигации, субфедеральные и муниципальные облигации, корпоративные облигации (перечень облигаций, обращающихся на российском биржевом рынке и имеющих необходимый срок погашения, представлен в *таблице 1*).

В сформированный перечень облигационных выпусков был включен один выпуск государственных

Таблица 1.

Облигационные выпуски, обращающиеся на российском биржевом рынке с датой погашения с 13 по 27 декабря 2020 г., размещенные не позднее 30 июня 2020 г.¹

№ п/п	Сегмент облигационного рынка	Наименование облигационного выпуска	Дата погашения облигационного выпуска	Номинальный объем выпуска, млрд руб.
1	Государственные облигации	ГСО-36002-ППС	16.12.2020 г.	15,00000
2	Корпоративные облигации	Офир-КО-ПО2	14.12.2020 г.	0,10000
3		ДОМ.РФ-20-об	15.12.2020 г.	5,00000
4		Сбербанк-001-41R-бсо	15.12.2020 г.	3,00000
5		ФПК Гарант-Инвест-001P-03	16.12.2020 г.	1,00000
6		Агронова-Л-1-об	17.12.2020 г.	5,00000
7		РСГ-Финанс-4-боб	17.12.2020 г.	2,00000
8		СофтЛайн Трейд-001P-01	17.12.2020 г.	3,00000
9		Банк ВТБ-Б-1-48	18.12.2020 г.	10,00000
10		УОМЗ ПО-2-боб	18.12.2020 г.	1,50000
11		Пассажирский порт-1-обн	22.12.2020 г.	0,00009
12		Банк ВТБ-Б-1-11	23.12.2020 г.	5,00000
13		Магнит-003P-03	24.12.2020 г.	10,00000
14		ЧТПЗ-001P-01-боб	24.12.2020 г.	5,00000
15		Сбербанк-001-179R-бсо	25.12.2020 г.	3,00000
16		ГПБ-25-боб	26.12.2020 г.	5,00000

¹ RusBonds, интернет-проект информационного агентства «Финмаркет» (https://www.rusbonds.ru/srch_simple.asp)

облигаций и 15 выпусков корпоративных облигаций (в сегменте субфедеральных и муниципальных облигаций в течение этого периода облигационные выпуски не погашались).

Для сокращения перечня потенциальных объектов инвестирования выступает критерий одной сделки, предполагающий совершение не менее одной сделки в течение торговой сессии, в ходе которой происходит формирование облигационного портфеля (данные по сделкам, совершенным 30 июня 2020 г. на отечественном биржевом рынке представлены в *таблице 2*, «полужирным» шрифтом в ней отмечены те облигационные выпуски, по которым не было совершено ни одной сделки в течение торговой сессии).

Использованный критерий одной сделки позволил сократить количество облигационных выпусков с 16 до 9, при этом по последним был осуществлен расчет доходности за предполагаемый период владения (при условии владения облигациями вплоть до

погашения), исходя из средней величины комиссии брокера в размере 0,01% от суммы сделки и комиссии биржи в размере 0,01% от суммы сделки (результаты расчетов представлены в *таблице 3*).

Таким образом, 7 из 9 отобранных облигационных выпусков (они выделены «полужирным» шрифтом в *таблице 3*) не целесообразно использовать в рамках модифицированной стратегии скольжения по кривой доходности: их расчетная доходность за предполагаемый период владения с учетом накопленного купонного дохода и величины транзакционных издержек составляет менее 7,00% годовых.

В отношении двух облигационных выпусков, имеющих уровень доходности, превышающий требуемый (ожидаемый), определены коэффициенты компенсации (для случая продажи облигационных выпусков) по состоянию на 30 июня 2020 г.

Расчет коэффициентов компенсации предваряет моделирование изменчивости рыночных цен облигаций при росте процентных ставок на 1% (с приме-

Таблица 2.

**Количество сделок, совершенных по отобранным облигационным выпускам
30 июня 2020 г. на Московской бирже (в режиме торгов «Рыночные сделки Т+»)²**

№ п/п	Наименование облигационного выпуска	Объем сделок, руб.	Объем сделок, штук	Количество сделок, штук
1	ГСО-36002-ППС	0	0	0
2	Офир-КО-ПО2	0	0	0
3	ДОМ.РФ-20-об	0	0	0
4	Сбербанк-001-41R-бсо	0	0	0
5	ФПК Гарант-Инвест-001P-03	63 526,60	63	10
6	Агронова-Л-1-об	0	0	0
7	РСГ-Финанс-4-боб	1 438 103,50	1 439	50
8	СофтЛайн Трейд-001P-01	683 453,75	1 336	35
9	Банк ВТБ-Б-1-48	9 276 796,40	9 229	27
10	УОМЗ ПО-2-боб	143 036,00	141	5
11	Пассажирский порт-1-обн	0	0	0
12	Банк ВТБ-Б-1-11	0	0	0
13	Магнит-003P-03	177 337,70	174	13
14	ЧТПЗ-001P-01-боб	122 784,00	120	2
15	Сбербанк-001-179R-бсо	4 090 890,60	4 221	23
16	ГПБ-25-боб	1 773 540,40	1 747	10

² Московская биржа ММВБ-РТС (<https://www.moex.com/ru/marketdata/bulletins/#/date=2020-06-30>)

нением итерационных методов подбора значений), а также вычисление и проверка значимости средней величины облигационного рыночного спреда по облигационным выпускам на основании малых выборок с последующей проверкой по критерию Бартлетта (результаты расчетов представлены в *таблице 4*).

Для обоих облигационных выпусков значения общего коэффициента компенсации K_{CG} меньше пред-

полагаемого периода инвестирования (90 дней), поэтому отобранные облигационные выпуски могут быть включены в состав облигационного портфеля в рамках модифицированной стратегии скольжения по кривой доходности. Удельные веса каждого выпуска облигаций определяются обратно пропорционально значениям общего коэффициента компенсации, т.е. удельный вес облигационного выпуска ФПК Гарант-Инвест-001Р-03 при таком подходе составит 38,9%, а удельный вес выпуска РСГ-Финанс-4-боб – 61,1%.

Оценка эффективности реализуемой инвестиционной стратегии осуществляется по состоянию на 18 сентября 2020 г.

Указанная дата является датой пересмотра облигационного портфеля и принятия ключевого инвестиционного решения о закрытии имеющихся позиций по облигациям или о продолжении инвестирования (соответствующие расчеты представлены в *таблице 5*).

Модифицированная стратегия скольжения по кривой доходности облигаций позволила получить дополнительную доходность по каждому из отобранных облигационных выпусков, причем с учетом долей облигационных выпусков средний прирост по доходности составил 1,45%. С учетом величины требуемой (ожидаемой) доходности 7,00%, разница в доходности инвестирования является очень значительной: прирост доходности составил 20,71% от величины требуемой доходности.

Таблица 3.

Расчетная доходность за предполагаемый период владения отобранных облигаций (при условии владения облигациями вплоть до погашения)

№ п/п	Наименование облигационного выпуска	Доходность за предполагаемый период владения, % годовых
1	ФПК Гарант-Инвест-001Р-03	9,90
2	РСГ-Финанс-4-боб	10,94
3	СофтЛайн Трейд-001Р-01	6,07
4	Банк ВТБ-Б-1-48	4,47
5	УОМЗ ПО-2-боб	6,11
6	Магнит-003Р-03	3,69
7	ЧТПЗ-001Р-01-боб	5,12
8	Сбербанк-001-179R-бсо	6,65
9	ГПБ-25-боб	4,43

Таблица 4.

Расчетные значения коэффициентов компенсации для отобранных облигационных выпусков

№ п/п	Наименование облигационного выпуска	K_{CP} , дней	K_{CL} , дней	K_{CT} , дней	K_{CG} , дней
1	ФПК Гарант-Инвест-001Р-03	13,5	27,1	1,2	41,8
2	РСГ-Финанс-4-боб	14,7	10,6	1,3	26,6

Таблица 5.

Сравнительный анализ доходности отобранных облигационных выпусков³

№ п/п	Наименование облигационного выпуска	Доходность за предполагаемый период владения (при условии владения облигациями вплоть до погашения), % годовых	Доходность за предполагаемый период владения (при условии продажи 18 сентября 2020 г.), % годовых	Отклонение, % годовых
1	ФПК Гарант-Инвест-001Р-03	9,90	10,77	+0,86
2	РСГ-Финанс-4-боб	10,94	12,75	+1,82

³ Московская биржа ММВБ-ПТС (<https://www.moex.com/ru/marketdata/bulletins/#/date=2020-09-18>)

Необходимо отметить, что в перспективе полная роботизация описанной выше последовательности действий при формировании инвестиционного портфеля на облигационном рынке позволит институциональным и частным инвесторам с минимальными временными затратами эффективно решать целый ряд взаимосвязанных прикладных задач портфельного инвестирования, в частности, задачу обоснованного отбора потенциальных инструментов инвестирования, задачу структурирования инвестиционного портфеля, а также задачу выбора оптимального момента для открытия и закрытия позиций по облигационным выпускам.

Заключение

По итогам проведенного исследования были получены следующие результаты.

1. Разработанная модифицированная стратегия скольжения по кривой доходности может использоваться как в условиях классической формы кривой процентных ставок, так и в случае плоской кривой процентных ставок.
2. Предложенный показатель доходности за период владения облигациями, учитывающий накопление и выплату купонных доходов по ним, а также величину транзакционных издержек, имеющих индивидуальный характер для каждого инвестора, является более точным и объ-

ективным показателем по сравнению с традиционным показателем доходности облигаций к погашению.

3. Совместное применение критерия одной сделки в сочетании с разработанным алгоритмом расчета среднего рыночного спреда позволяют участникам облигационного рынка более корректно оценить уровень рыночной ликвидности облигаций и, соответственно, более точно рассчитать коэффициент компенсации риска ликвидности.
4. Предложенные коэффициенты компенсации (коэффициент компенсации ценового риска, коэффициент компенсации риска ликвидности, коэффициент компенсации транзакционных издержек и общий коэффициент компенсации) дают возможность не только комплексно охарактеризовать уровень риска, присущий облигациям по выбранным критериям, но и позволяют структурировать облигационный портфель (например, обратно пропорционально значениям коэффициентов общей компенсации).

Созданные на основании вышеперечисленных результатов алгоритмы формирования портфелей финансовых инструментов и их программные реализации могут быть встроены в роботизированные и полуроботизированные торговые терминалы и инвестиционные приложения для использования институциональными и частными инвесторами на облигационном рынке. ■

Литература

1. Zhengyao J., Xu D., Liang J. A deep reinforcement learning framework for the financial portfolio management problem // Working paper arXiv: 1706.10059v2, 2017. [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org/pdf/1706.10059.pdf> (дата обращения 22.12.2020).
2. Xiu G., Chan L. An algorithm for trading and portfolio management using Q-learning and Sharpe ratio maximization // Proceedings of the International Conference on Neural Information Processing. P. 832–837. [Электронный ресурс]: <http://www.cse.cuhk.edu.hk/~lwchan/papers/iconip00-qsr.pdf> (дата обращения 22.12.2020).
3. Almahdi S., Yang S. An adaptive portfolio trading system: A risk-return portfolio optimization using recurrent reinforcement learning with expected maximum drawdown // Expert Systems with Applications. 2017. No 87. P. 267–279. DOI: 10.1016/j.eswa.2017.06.023.
4. Heaton J., Polson N., Witte J. Deep learning for finance: Deep portfolios // Applied Stochastic Models in Business and Industry. 2016. Vol. 33. No 1. P. 3–12. [Электронный ресурс]: <http://www.ssrn.com/abstract=2838013> (дата обращения: 04.01.2021). DOI: 10.2139/ssrn.2838013.
5. Коробов Н.Ф., Белоглазов А.А. Управление портфелем корпоративных облигаций // Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2005. № 2. С. 28–30.
6. Пономарев А.А. Оптимизация доходности инвестиционного портфеля субфедеральных облигаций // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2007. № 24. С. 69–72.
7. Попова Н.В. Влияние частоты купонных платежей на цену облигации // Финансы: проблемы и решения. 2012. № 3. С. 40–44.
8. Лашевский П.А. Классификация инфраструктурных облигаций // Теория и практика общественного развития. 2013. № 10. С. 381–383.
9. Дарушин И.А. Оценка риска реинвестирования облигации. Дополняющая дюрация // Финансы и кредит. 2014. № 24 (600). С. 9–18.
10. Задорожная А.Н. Влияние ковенантов на доходность корпоративных облигаций // Финансы и кредит. 2015. № 7 (631). С. 34–44.
11. Назарова В.В., Левичев И.П. Разработка модели повышения эффективности управления инвестиционным портфелем // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2017. Т. 21. № 3. С. 451–481.

12. Фрейдина И.А. Международный опыт финансирования инфраструктурных проектов // Экономическая политика. 2017. Т. 12. № 4. С. 196–203. DOI: 10.18288/1994-5124-2017-4-08.
13. Фомин М.В., Лахно Ю.В., Пышнограй А.П. Муниципальные облигации как инструмент развития инфраструктуры // Вопросы государственного и муниципального управления. 2019. № 2. С. 185–210.
14. Михайлов А.Ю. Временная структура ставок государственных облигаций // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2015. № 38. С. 42–52.
15. Буренин А.Н. Пределы макроэкономической политики под углом зрения экономических кризисов // Экономическая политика. 2019. Т. 14. № 1. С. 76–91. DOI: 10.18288/1994-5124-2019-1-76-91.
16. Бешенов С.В., Лапшин В.А. Параметрическая иммунизация процентного риска на основе моделей срочной структуры процентных ставок // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2019. Т. 23. № 1. С. 9–31. DOI: 10.17323/1813-8691-2019-23-1-9-31.
17. Fabozzi F.J. Bond markets, analysis and strategies; 9th ed. New York: Pearson, 2014.
18. Fabozzi F.J. Fixed income mathematics: Analytical and statistical techniques; 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2006.
19. Fabozzi F.J. Fixed income analysis; 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
20. Galvani V., Landon S. Riding the yield curve: A spanning analysis // Review of Quantitative Finance and Accounting. 2013. Vol. 40, No 1, P. 135–154. DOI: 10.1007/s11156-011-0267-7.
21. Bieri D.S., Chincarini L.B. Riding the yield curve: Diversification of strategies // Working paper SSRN 547682. April 12, 2004. [Электронный ресурс]: <https://ssrn.com/abstract=547682> (дата обращения: 14.02.2021). DOI: 10.2139/ssrn.547682.
22. Cox R.A.K., Felton J.M. Performance from riding the yield curve: 1980–1992 // Journal of Business and Economic Perspectives. 1994. Vol. 20. P. 128–132.
23. Wei Z., Xianhua W., Guofu W. An empirical research on the investment strategy of bond portfolios based on the changes of yield curves // Management Review. 2007. Vol. 6. P. 128–136.
24. Riding the yield curve: Risk taking behavior in a low interest rate environment / Chami R. [et al.] // International Monetary Fund Working Paper No 20/53. March 2020. [Электронный ресурс]: <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2020/English/wpiea2020053-print-pdf.ashx> (дата обращения: 10.01.2021).
25. A complex algorithm for selecting instruments to finance mergers and acquisitions / A. Yakunina [et al.] // Proceedings of the Third Workshop on Computer Modelling in Decision Making (CMDM 2018). Advances in Computer Science Research. February 2019. P. 31–35. [Электронный ресурс]: <https://www.atlantis-pess.com/article/55913498.pdf> (дата обращения: 23.01.2021). DOI: 10.2991/cmdm-18.2019.6.
26. Improving the tools used in computer modelling of the bond liquidity assessment on the russian market / Y.V. Semernina [et al.] // Proceedings of the Workshop on Computer Modelling in Decision Making (CMDM 2016), Saratov, Russia, November 10–11, 2016. Vol. 1726. P. 100–108. [Электронный ресурс]: <http://ceur-ws.org/Vol-1726/paper-10.pdf> (дата обращения: 23.01.2021).

Об авторах

Коробов Евгений Александрович

заведующий лабораторией информационных систем в экономике, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83;

E-mail: korobovea@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7198-5941

Семернина Юлия Вячеславовна

доктор экономических наук, доцент;

профессор кафедры «Финансы и банковское дело», Социально-экономический институт, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77;

E-mail: ysemernina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-2098-795X

Усманова Алина Сергеевна

кандидат экономических наук;

доцент кафедры «Финансы и банковское дело», Социально-экономический институт, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77;

E-mail: alina.brosalova@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8488-0425

Одинокова Кристина Анатольевна

преподаватель кафедры «Финансы и банковское дело», Социально-экономический институт, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77;

E-mail: odinokova.kristina93@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8191-1337

Robotizing bond portfolio selection on the Russian debt market on the basis of a modified strategy of riding the yield curve

Eugene A. Korobov^a

E-mail: korobovea@yandex.ru

Yulia V. Semernina^b

E-mail: ysemernina@yandex.ru

Alina S. Usmanova^b

E-mail: alina.brosalova@yandex.ru

Kristina A. Odinkova^b

E-mail: odinkova.kristina93@mail.ru

^a Saratov State University

Address: 83, Astrakhanskaya Street, Saratov 410012, Russia

^b Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Address: 77, Polytechnicheskaya Street, Saratov 410054, Russia

Abstract

The modern global debt market features historically low average interest rates, convergence of yields on bonds with different maturities, an increase of yield curve inversion emergence frequency and a large-scale trend to automate financial decision making. The researchers' attention in these fields is mainly focused on designing models that describe the state of the debt market as whole or its individual instruments in particular, as well as on risk management methods. At the same time, the specialized literature offers very few works concerning the topic of computer algorithms for bond portfolio selection based on traditional or advanced investment strategies. The aim of the present research is to create a modification of the existing algorithm of riding the yield curve strategy application, employing, first, average bond yield over the holding period instead of traditional bond yield to maturity; second, a developed algorithm for calculating the market spread on bonds; and, third, alternative risk evaluation indicators (compensation coefficients), which allow us to measure objectively price risk, liquidity risk, transaction costs risk and a general risk. The modification and the development of the algorithm for calculating the market spread were carried out using the direct measurement of the result technique, which entails application of the strategy to the data on bond issues received through the Moscow Exchange API. The selection of financial instruments was conducted in all sectors of the Russian debt market: public bonds, sub-federal and municipal bonds, corporate bonds. The modified algorithm enabled us to get extra yield for each selected bond issue, thereby proving the high effectiveness of the technique compared to the traditional strategy. Software implementation of the algorithm can be integrated into any robotized or semi-robotized stock exchange trading application.

Key words: modified riding the yield curve strategy; robotizing bond portfolio selection; algorithm for calculating the market spread on bonds; compensation coefficients; bond price risk; bond liquidity risk; bond transaction costs risk; general bond risk; investment software applications.

Citation: Korobov E.A., Semernina Y.V., Usmanova A.S., Odinkova K.A. (2021) Robotizing bond portfolio selection on the Russian debt market on the basis of a modified strategy of riding the yield curve. *Business Informatics*, vol. 15, no 4, pp. 7–21. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.4.7.21

References

1. Zhengyao J., Xu D., Liang J. (2017) *A deep reinforcement learning framework for the financial portfolio management problem*. Working paper arXiv: 1706.10059v2. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1706.10059.pdf> (accessed 22 December 2020).
2. Xiu G., Chan L. (2000) An algorithm for trading and portfolio management using Q-learning and Sharpe ratio maximization. Proceedings of the *International Conference on Neural Information Processing*. pp. 832-837. Available at: <http://www.cse.cuhk.edu.hk/~lwchan/papers/iconip00-qsr.pdf> (accessed 22 December 2020).
3. Almahdi S., Yang S. (2017) An adaptive portfolio trading system: A risk-return portfolio optimization using recurrent reinforcement learning with expected maximum drawdown. *Expert Systems with Applications*, no 87, pp. 267–279. DOI: 10.1016/j.eswa.2017.06.023.
4. Heaton J., Polson N., Witte J. (2016) Deep learning for finance: deep portfolios. *Applied Stochastic Models in Business and Industry* (electronic journal), vol. 33 (1), pp. 3–12. Available at: <http://www.ssrn.com/abstract=2838013> (accessed 25 January 2021). DOI: 10.2139/ssrn.2838013.
5. Korobov N.F., Beloglazov A.A. (2005) Management of corporate bond portfolio. *Bulletin of Taganrog Institute of Management and Economics*, no 2, pp. 28–30 (in Russian).
6. Ponomarev A.A. (2007) Yield optimization of the sub-federal bond portfolio. *Bulletin of the Russian State Pedagogical University*, no 24, pp. 69–72 (in Russian).
7. Popova N.V. (2012) The influence of the coupon payments' frequency on the bond price. *Finance: Problems and Solutions*, no 3, pp. 40–44 (in Russian).
8. Lashevsky P.A. (2013) Classification of infrastructure bonds. *Theory and practice of social development*, no 10, pp. 381–383 (in Russian).
9. Darushin I.A. (2014) Assessment of the bond reinvestment risk. Complementing duration. *Finance and Credit*, no 24 (600), pp. 9–18 (in Russian).
10. Zadorozhnaya A.N. (2015) The influence of covenants on the corporate bond yield. *Finance and Credit*, no 7 (631), pp. 34–44 (in Russian).
11. Nazarova V.V., Levichev I.P. (2017) Development of the model of improving the effectiveness of investment portfolio. *HSE Economic Journal*, vol. 21, no 3, pp. 451–481 (in Russian).
12. Freydina I.A. (2017) International experience in financing infrastructure projects. *Economic policy*, vol. 12, no 4, pp. 196–203 (in Russian). DOI: 10.18288/1994-5124-2017-4-08.
13. Fomin M.V., Lakhno Yu.V., Pyshnograi A.P. (2019) Municipal bonds as an instrument for infrastructure development. *Issues of public and municipal governance*, no 2, pp. 185–210 (in Russian).
14. Mikhailov A.Yu. (2015) Term structure of public bond yield rates. *Financial analytics: problems and solutions*, no 38, pp. 42–52 (in Russian).
15. Burenin A.N. (2019) Limits of macroeconomic policy from the economic crises' point of view. *Economic policy*, vol. 14, no 1, pp. 76–91 (in Russian). DOI: 10.18288/1994-5124-2019-1-76-91.
16. Beshanov S.V., Lapshin V.A. (2019) Parametric immunization of interest rate risk via term structure models. *HSE Economic Journal*, vol. 23, no 1, pp. 9–31 (in Russian). DOI: 10.17323/1813-8691-2019-23-1-9-31.
17. Fabozzi F.J. (2014) *Bond markets, analysis and strategies*; 9th ed. New York: Pearson.
18. Fabozzi F.J. (2006) *Fixed income mathematics: Analytical and statistical techniques*; 4th ed. New York: McGraw-Hill Education.
19. Fabozzi F.J. (2007) *Fixed income analysis*; 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons.
20. Galvani V., Landon S. (2013) Riding the yield curve: A spanning analysis. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, vol. 40, no 1, pp.135–154. DOI: 10.1007/s11156-011-0267-7.
21. Bieri D.S., Chincarini L.B. (2004) *Riding the yield curve: Diversification of strategies*. Working paper SSRN 547682 (April 12, 2004). Available at: <https://ssrn.com/abstract=547682> (accessed 14 February 2021). DOI: 10.2139/ssrn.547682.
22. Cox R.A.K., Felton J.M. (1994) Performance from riding the yield curve: 1980-1992. *Journal of Business and Economic Perspectives*, vol. 20, pp. 128–132.
23. Wei Z., Xianhua W., Guofu W. (2007) An empirical research on the investment strategy of bond portfolios based on the changes of yield curves. *Management Review*, vol. 6, pp. 128–136.
24. Chami R., Cosimano T.F., Rochon C., Yung J. (2020) Riding the yield curve: Risk taking behavior in a low interest rate environment. *International Monetary Fund Working Paper*, no. 20/53. Available at: <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2020/English/wpiea2020053-print-pdf.ashx> (accessed 10 January 2021).
25. Yakunina A., Varygin S., Nesterenko E., Korobov E., Semernina Y., Yakunin S. (2019) A complex algorithm for selecting instruments to finance mergers and acquisitions. Proceedings of the *Third Workshop on Computer Modelling in Decision Making (CMDM 2018), Saratov, Russia, November 14–17, 2018*. Advances in Computer Science Research, February 2019, pp. 31–35. DOI: 10.2991/cmdm-18.2019.6
26. Semernina Y., Yakunina A., Nesterenko E., Yakunin S., Korobov E. (2016) Improving the tools used in computer modelling of the bond liquidity assessment on the Russian market. Proceedings of the *Workshop on Computer Modelling in Decision Making (CMDM 2016), Saratov, Russia, November 10–11, 2016*. CEUR-WS, vol. 1726, pp. 100–108. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-1726/paper-10.pdf> (accessed 23 January 2021).

About the authors

Eugene A. Korobov

Head of Laboratory of IT in Economics, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya Street, Saratov 410012, Russia;

E-mail: korobovea@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7198-5941

Yulia V. Semernina

Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor;

Professor, Department of Finance and Banking, Socio-Economic Institute, Saratov State Technical University, 77 Polytechnicheskaya Street, Saratov 410054, Russia;

E-mail: ysemernina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-2098-795X

Alina S. Usmanova

Cand. Sci. (Econ.);

Associate Professor, Department of Finance and Banking, Socio-Economic Institute, Saratov State Technical University, 77 Polytechnicheskaya Street, Saratov 410054, Russia;

E-mail: alina.brosalova@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8488-0425

Kristina A. Odinkova

Lecturer, Department of Finance and Banking, Socio-Economic Institute, Saratov State Technical University, 77 Polytechnicheskaya Street, Saratov 410054, Russia;

E-mail: odinkova.kristina93@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8191-1337