

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»

*На правах рукописи*

Пеникас Генрих Иозович

**Математическое моделирование  
процессов управления кредитным риском портфелей ссуд  
для целей пруденциального банковского регулирования и надзора**

РЕЗЮМЕ

диссертации на соискание ученой степени  
доктора экономических наук

**JEL:** C25, D81, G21, G28, G32, G33.

Москва - 2020

## Оглавление

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Мотивация.....</b>                                                                 | <b>3</b>  |
| 1.1. Академическая актуальность .....                                                    | 3         |
| 1.2. Прикладная актуальность .....                                                       | 4         |
| <b>2. Цель и задачи исследования .....</b>                                               | <b>4</b>  |
| <b>3. Степень разработанности и постановка проблемы.....</b>                             | <b>5</b>  |
| 3.1. Моделирование кредитного риска на уровне ОТДЕЛЬНОЙ ССУДЫ.....                       | 5         |
| 3.1.1. Способ измерения риска (мера риска) .....                                         | 5         |
| 3.1.2. Теоретическая модель определения кредитного риска (дефолта).....                  | 5         |
| 3.2. Моделирование кредитного риска на уровне ПОРТФЕЛЯ ССУД.....                         | 6         |
| 3.2.1. Теоретико-вероятностная модель Васичека .....                                     | 6         |
| 3.2.2. Вероятностно-статистическая модель регулятора .....                               | 8         |
| 3.2.3. Ожидаемые и непредвиденные потери .....                                           | 9         |
| 3.2.4. Норматив достаточности (адекватности) капитала CAR .....                          | 9         |
| 3.2.5. Последствия для банков от использования математических моделей.....               | 10        |
| 3.3. Моделирование кредитного риска на уровне БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ.....                    | 10        |
| 3.3.1. Стресс-тестирование .....                                                         | 10        |
| <b>4. Основные результаты, выносимые на защиту.....</b>                                  | <b>10</b> |
| 4.1. Моделирование кредитного риска на уровне ОТДЕЛЬНОЙ ССУДЫ.....                       | 10        |
| 4.1.1. Прогнозирование вероятности дефолта (PD) .....                                    | 11        |
| 4.1.2. Исследование PLC и концентрации .....                                             | 11        |
| 4.2. Моделирование кредитного риска на уровне ПОРТФЕЛЯ ССУД.....                         | 11        |
| 4.2.1. Параметризация корреляции активов и дефолтов .....                                | 11        |
| 4.2.2. Двойные доверительные интервалы для проверки точности моделей PD .....            | 12        |
| 4.2.3. Верификация предпосылок модели Васичека и ее модификация .....                    | 13        |
| 4.2.4. «Регуляторный арбитраж» и искажение оценки риска в нормативе CAR.....             | 14        |
| 4.2.5. Эффект на стоимость банка от перехода на ПВР.....                                 | 15        |
| 4.3. Моделирование кредитного риска на уровне БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ.....                    | 15        |
| 4.3.1. Стресс-тестирование кредитного риска .....                                        | 15        |
| 4.3.2. Использование норматива CAR для всей банковской системы .....                     | 16        |
| <b>5. Значение для пруденциального банковского регулирования и надзора в России.....</b> | <b>16</b> |
| 5.1. Выявленные искажения в оценке кредитного риска .....                                | 16        |
| 5.2. Рекомендации на основе проведенного исследования .....                              | 17        |
| 5.3. Условный экономический эффект.....                                                  | 17        |
| <b>6. Список опубликованных работ .....</b>                                              | <b>19</b> |
| <b>7. Список литературы .....</b>                                                        | <b>20</b> |

Данная работа является мнением автора и может не отражать мнение аффилированных организаций.

## 1. Мотивация.

Кредитный риск – это риск, возникающий в связи с вероятностью невыполнения, неполного или несвоевременного исполнения договорных обязательств заемщиком или контрагентом перед банком. В нем могут выделять риски дефолта, контрагента, эмитента, концентрации (Банк России, 2015b, стр. прил. 1, гл. 2, пар. 2.1), (Дугин & Пеникас, 2016, стр. 211, 247, 330). Кредитный риск в среднем занимает 84% от общего объема рисков банков в мире. Можно выделить два института, направленных на ограничение принятия избыточных кредитных рисков. Первый – это ссудо-сберегательные кассы (ССК) (Полтерович & Старков, 2005), (Полтерович & Старков, 2007). Второй – это требования пруденциального банковского регулирования и надзора (Polizatto, 1989), (Dewatripont & Tirole, 1994), (Симановский, 2007), (Ерпылева, 2008), (Моисеев, 2015), (Стежкин & Шатохина, 2016). Базельский комитет по банковскому надзору (БКБН) часто является инициатором реализации таких требований (BCBS, 2019b).

### 1.1. Академическая актуальность

Все академические работы, посвященные кредитному риску, делятся на следующие группы:

- 1) **Исследование кредитного риска и его регулирования (микропруденциального)** на уровне индивидуального заемщика или портфеля ссуд: см. обзоры (BCBS, 2000a, pp. 107-110), (Kumar & Ravi, 2007), (Фантаццини Д. , 2008), (Фантаццини Д. , 2009), (Тотьмянина, 2011), (Altman E. , 2018), (Qu, Quan, Lei, & Shi, 2019).
- 2) **Учет кредитного риска как детерминанты стоимости банков:** (Ивашковская И. В., 2009), (Ивашковская, Патрин, & Скурихина, 2012), (Карминский & Фролова, 2015).
- 3) **Исследование того, как меняется принятие кредитного риска, в ответ на изменение политики Центрального Банка.** Здесь целесообразно выделить две подгруппы в зависимости от того, какая политика рассматривается:
  - a) **монетарная** политика, направленная на изменение денежной массы или стоимости денег: (Cecchetti & Li, 2005), (Borio & Zhu, 2008), (Bruno & Shin, 2012), (Dell’Ariccia, 2013), (Jimenez, Ongena, Peydro, & Saurina, 2014), (Malovaná, Kolcunová, & Brož, 2019).
  - b) **макропруденциальная** политика, направленная на повышение финансовой стабильности: (Kahou & Lehar, 2017), (Danilova & Morozov, 2017), (Dautović, 2019), (BIS, 2020), (Aikman, Bridges, Kashyap, & Siebert, 2019), (Carney, 2020), (Akdogan, 2020), (Rubio & Unsal, 2020), (Gaganis, Lozano-Vivas, Papadimitri, & Pasiouras, 2020), (Meuleman & Vennet, 2020), (Basten, 2020), (Duprey & Ueberfeldt, 2020).
- 4) **Исследование принятия кредитного риска для избежания требований пруденциального банковского регулирования и надзора в «теневом банковском секторе» (shadow banking):** (Ordoñez, 2018), (FSB, 2018), (Mishin, 2020), (Buchak, Matvos, Piskorski, & Seru, 2020).

В теоретических исследованиях кредитного риска в указанных работах есть два принципиальных недостатка. Во-первых, на уровне отдельного кредита прогнозируют дискретные события неплатежей. При агрегировании до уровня банка данное свойство случайных величин упускается из вида, и рассматриваются непрерывные гауссовские случайные величины. Как будет показано, такой переход не равнозначен и ведет к значимым искажениям в оценках кредитного риска.

Во-вторых, рассматривая агрегированные оценки кредитного риска (например, норматив достаточности капитала), авторы перечисленных работ не учитывают дополнительные факторы, которые позволяют выявить полную величину принятых кредитных рисков. Неучет таких факторов – это следствие недостаточной исследованности свойств агрегированных оценок кредитного риска; нормативов, включающих такие оценки риска; неизученности явлений «регуляторного арбитража», когда при единых оценках риска можно демонстрировать разные

значения норматива или на одних и тех же данных можно получать разные оценки кредитного риска. Данная работа обосновывает выводы, позволяющие снять перечисленные недостатки.

## 1.2. Прикладная актуальность

Соглашение Базель III и стандарт МСФО 9 являются одними из самых масштабных и недавних новаций в пруденциальном банковском регулировании и надзоре (Пеникас Г. И., 2019). Данные новации схожи в подходах к оценке кредитного риска (Битюцкий & Пеникас, 2016). Соглашение Базель III сохранило требования к оценке кредитного риска практически без изменений относительно их версии в соглашении Базель II. Таким образом, ряд уже известных недостатков в текущих подходах не был учтен. Как будет показано далее, существуют ранее невыявленные эффекты, существенно более значительно искажающие оценку кредитных рисков.

При этом заметим, что способ оценки кредитных рисков, выбранный банком и соответствующий требованиям пруденциального банковского регулирования и надзора, определяет возможности банка по развитию кредитования и, как следствие, влияет на его стоимость и финансовую устойчивость. Поэтому можно ожидать, что повышение точности моделирования кредитных рисков портфелей банков окажет положительное влияние на обе эти характеристики.

## 2. Цель и задачи исследования

**Целью** исследования является развитие теории риска на основе комплекса математических моделей, повышающих точность оценки кредитных рисков портфелей ссуд за счет учета ранее невыявленных вероятностно-статистических особенностей их частных и совместных распределений, которые могут быть использованы в процессах управления ими и которые несут большую информативность для стейкхолдеров банка. Под стейкхолдерами понимаются акционеры банка, инвесторы, вкладчики, представители пруденциального банковского регулирования и надзора, финансовые аналитики.

Для достижения указанной цели поставлены следующие **задачи** исследования (в скобках указаны разделы текущей работы, в которых они решены):

- 1) Построить вероятностно-статистическую модель прогноза вероятности дефолта для ранее не рассмотренных сегментов заемщиков: российских компаний-эмитентов и мировых судовых компаний. Проверить наличие связи вероятности дефолта и уровня потерь при дефолте для российских данных. Оценить масштаб изменения оценки кредитного риска, когда в портфеле ссуд имеет место такая связь и риска концентрации.
- 2) Вывести количественную взаимосвязь между дискретными событиями дефолта. Обосновать параметризацию корреляции дефолтов, ее связь с корреляцией активов.
- 3) Разработать процедуру проверки (валидации, аудита) точности моделей прогноза вероятности дефолта, когда имеет место корреляция между дискретными событиями дефолта, а не между коррелированными нормально распределенными доходностями активов.
- 4) Верифицировать на эмпирических данных корректность предпосылки теоретико-вероятностной модели Васичека об отсутствии взаимосвязи между корреляцией дефолтов и реализациями системного фактора. При невыполнении предпосылки предложить направления модификации теоретико-вероятностной модели Васичека.
- 5) Доказать на данных недооценку кредитного риска в модели Васичека как инструмента стресс-тестирования кредитного риска. Предъявить масштаб такой недооценки, сопоставив с моделями, учитывающими рост корреляции дефолтов в кризис.
- 6) Продемонстрировать наличие возможностей «регуляторного арбитража» при использовании норматива достаточности капитала, когда банк имеет возможность разработать модели для всех параметров кредитного риска, и при выделении низкодефолтных портфелей.

- 7) Смоделировать взаимосвязь уровня достаточности капитала банка и его стоимости, отдельно рассмотреть и количественно оценить эффект от использования математических моделей оценки кредитного риска портфелей ссуд на стоимость банков.
- 8) Построить модель для описания последствий использования норматива достаточности капитала на уровне банковской системы. Разработать рекомендации по использованию норматива для повышения финансовой устойчивости банков.

### 3. Степень разработанности и постановка проблемы

Математические модели процессов управления кредитным риском портфеля ссуд для целей пруденциального банковского регулирования и надзора включают пять элементов. Рассмотрим данные элементы поочередно.

Понятия математической, теоретической, теоретико-вероятностной, вероятностно-статистической, эконометрической моделей используются согласно (Айвазян & Мхитарян, 1998, pp. 40-41); агентно-ориентированной модели (АОМ) – согласно (Макаров, и др., 2016, стр. 253).

## 3.1. Моделирование кредитного риска на уровне ОТДЕЛЬНОЙ ССУДЫ

### 3.1.1. Способ измерения риска (мера риска)

Количественные способы измерения (меры) риска появились в 1938 г. (Jorion, 2003, стр. 245). В качестве мер риска использовали срочность облигации (кредита); дисперсию доходности актива; крайние значения реализаций такой доходности (Markowitz, 1952), (J.P. Morgan/Reuters, 1996), (Artzner, Delbaen, Eber, & Heath, 1999), (Adam, Houkari, & Laurent, 2007), (Rockafellar & Uryasev, 2013). Наиболее распространенной является **граница потерь** заданного уровня доверия  $\alpha$  – Value-at-Risk (VaR), или  $ГП_\alpha$  (Фантазини, 2008, стр. 88). Ее используют исследователи кредитного риска (Vasicek, 2002), (Fantazzini & Shangina, 2019), регуляторы (BCBS, 2006a). Недавно ее стали активно использовать макроэкономисты (Prasad, et al., 2019), (Duprey & Ueberfeldt, 2020), (Carney, 2020). Допустим, что  $X$  – это случайная величина с функцией распределения вероятностей  $F_X(x)$ , показывающая доходность актива. Тогда:

$$ГП_\alpha = F_X^{-1}(\alpha). \quad [1]$$

**Ключевые проблемы** с использованием меры  $ГП_\alpha$  следующие. Во-первых, никто не исследовал ее применение к оценке кредитного риска, когда рассматриваются коррелированные дискретные события дефолтов. Это будет показано в разделах 4.2.1, 4.2.2. Во-вторых, никто не изучал последствия разложения меры  $ГП_\alpha$  на отдельные компоненты, используемые в пруденциальном регулировании и надзоре. Это будет представлено в разделе 4.

### 3.1.2. Теоретическая модель определения кредитного риска (дефолта)

Основой для определения дефолта является теоретическая модель (Merton, 1974). Для Мертона кредитный риск – это событие дефолта, т.е. ситуация, когда доходность активов (return on assets, ROA)  $r_{Ai}$   $i$ -ой компании-заемщика будет меньше процентной ставки по ее долгу  $r_{Di}$ :

$$r_{Ai} < r_{Di}. \quad [2]$$

Тогда возникает задача прогнозирования вероятности дефолта  $PD_i$ . Можно выделить два подхода к прогнозированию вероятности дефолта: **экспертный** и **вероятностно-статистический**. В экспертном подходе факторы дефолта и их значимость (веса) для общей оценки задают эксперты. Их опыт формируется из знания конкретных случаев дефолта. Исследованию таких случаев

посвящены работы: (Sinkey, 1979), (Steignum, 2003), (v. Westernhagen, и др., 2004), (Sandal, 2004), (Harada, Ito, & Takahashi, 2010), (Kosmetatos, 2014), (Mourlon-Druol, 2015), (Penikas H. , 2020b). В рамках вероятностно-статистического подхода изучаются закономерности, характерные для выбранной группы заемщиков. Например, есть статьи, посвященные:

- (1) Дефолтам и банкротствам промышленных компаний как одному из сегментов клиентов-заемщиков банков: (Карминский, 2015, стр. 217-222), (Могилат, 2019);
- (2) Дефолтам мировых судовых компаний и выданных им кредитов (shipping companies) как другому сегменту клиентов-заемщиков банков: (Grammenos, 2008), (Kavussanos M. T., 2014), (Kavussanos & Tsouknidis, 2016).
- (3) Дефолтам банков как заемщикам у других кредитных организаций: (Peresetsky, Karminsky, & Golovan, 2004), (Пересецкий, 2012), (Fungacova & Weill, 2013), (Карминский, 2015);

Особое место в моделировании вероятности дефолтов занимают модели для **низкодефолтных портфелей (low default portfolios, LDP)**. Так называют ситуации, когда в выборке мало дефолтов относительно других наблюдений (недефолтов) (BCBS, 2005b). Подходы к определению таких портфелей обобщены в (Пеникас, 2020).

Большинство работ, посвященных прогнозированию вероятности дефолта, предполагает, что совместные распределения вероятностей реализации значений признаков компаний двух классов (дефолтов и недефолтов) гауссовские. Однако, если предпосылка не выполняется, используют копулы (BCBS, 2009, р. 28), (Пеникас, 2010a), (Айвазян & Фантаццини, 2015, стр. 507-624, гл. 6). Для прогноза вероятности дефолта используют **дискриминантный анализ с учетом копул (copula-based discriminant analysis, CODA)** (Scheungrab, 2013), (Han, Zhao, & Liu, 2013).

Точность прогноза моделей вероятности дефолта проверяют (валидируют) с помощью анализа ошибок первого и второго рода (Пересецкий, 2012, р. 67), (Карминский 2015, 193). Регуляторы (BCBS, 2005a, р. 47), (EBA, 2019, р. 20) рекомендуют использовать нормальную аппроксимацию (Айвазян & Мхитарян, 1998, стр. 312-320) и байесовский доверительный интервал Джеффри (Brown, Cai, & DasGupta, 2001) для независимых доходностей активов. (BCBS, 2005a, р. 49), (Blochwitz, Martin, & Wehn, 2006, стр. 295) предлагают процедуру для зависимых.

**Ключевые проблемы** здесь две. Во-первых, никто не оценивал корректность указанных процедур проверки моделей прогноза вероятности дефолта на данных с дискретными событиями дефолта, а не с непрерывно распределенными доходностями активов. Это будет рассмотрено в разделе 4.2.2. Во-вторых, никто не исследовал возможные искажения в оценке кредитного риска, когда выделяются низкодефолтные портфели. Решение данной задачи будет продемонстрировано в разделе 4.2.4.

## 3.2. Моделирование кредитного риска на уровне ПОРТФЕЛЯ ССУД

### 3.2.1. Теоретико-вероятностная модель Васичека

(Vasicek, 2002) предположил теоретико-вероятностную модель, где доходность активов  $i$ -ой компании-заемщика  $r_{Ai}$  зависит от двух факторов: системного  $Y$  и специфического  $\varepsilon_i$ , т.е.:

$$r_{Ai} = Y\sqrt{R} + \varepsilon_i\sqrt{1-R}, \quad [3]$$

где  $Y \sim N(0;1)$  – системный фактор;  $\varepsilon_i \sim N(0;1)$  – специфический фактор для  $i$ -ой компании-заемщика;  $N(0;1)$  – функция стандартного нормального (гауссовского) распределения. (Witzany, 2013) критикует предпосылку Васичека о нормальности распределения доходности  $r_{Ai}$ . (Gordy,

2000, pp. 147, eq. C.1), (BCBS, 2005a, p. 47), (Gordy & Heitfield, 2010, pp. 46, eq. 3), (Meuleman & Vennet, 2020) допускают отрицательный вклад системного фактора и записывают [3] как:

$$r_{A_i} = Y \cdot \rho + \varepsilon_i \sqrt{1 - \rho^2}, \quad [4]$$

где

$$\omega_i^2 = R_i. \quad [5]$$

Доходности активов двух компаний 1 и 2 коррелируют как  $\text{Corr}(r_{A_1}, r_{A_2}) = \sqrt{R_1 R_2}$ . Параметр  $R_i$  называют **корреляцией активов (asset correlation)** (BCBS, 2005c). Вместе с понятием корреляции активов часто используют понятие **корреляции дефолтов (default correlation)**. Определяют бернуллиевскую случайную величину  $L_i$  как:

$$L_i = I(r_{A_i} < r_{D_i}), \quad [6]$$

где  $I(\cdot)$  - функция, принимающая значение единицы при выполнении условия в скобках и ноль - иначе. Тогда корреляция дефолтов будет равна (Gordy M., 2000, p. 133), (BCBS, 2005a, p. 48):

$$\text{Corr}(L_1, L_2) = \frac{N(\tilde{l}, \tilde{l}) - PD^2}{PD(1 - PD)}, \quad [7]$$

где  $N(\tilde{l}, \tilde{l})$  - это двумерная функция стандартного нормального распределения, вычисленная для двух одинаковых нормально распределенных случайных величин  $L_1$  и  $L_2$ , для которых  $E(L_1) = E(L_2) = F_L(\tilde{l}) = PD$  и  $\text{Corr}(r_{A_1}, r_{A_2}) = R$ .

Перечислим интересующие нас предпосылки модели Васичека:

- 1) Индивидуальный фактор не связан с корреляцией активов:

$$\text{Corr}(R_i, \varepsilon_i) = 0; \quad [8]$$

- 2) Системный фактор не связан с корреляцией активов, а, учитывая [7], не связан с корреляцией дефолтов:

$$\text{Corr}(R_i, Y) = 0. \quad [9]$$

Васичек предполагает бесконечное число бесконечно малых по размеру одинаковых ссуд. Вероятность дефолта по каждой ссуде равна  $PD_i$ . Тогда он рассматривает распределение

величины  $L_n \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n X_i$ . Он использует меру риска  $\Pi_\alpha$  для определения ее крайних

реализаций при выбранном уровне доверия  $\alpha$ . (Vasicek, 2002) показывает, что предельное распределение **условной** вероятности дефолта отдельно взятой ссуды из такого портфеля с учетом реализации системного фактора составляет:

$$P(r_{A_i} \leq r_{D_i} | Y) = N\left(\frac{N^{-1}(PD_i) + N^{-1}(1 - p_Y(\tilde{y}))\sqrt{R_i}}{\sqrt{1 - R_i}}\right) = p_i(PD_i, p_Y(\tilde{y})), [10]$$

где  $p_Y(\tilde{y})$  – вероятность, соответствующая реализации  $\tilde{y}$  системного фактора  $Y$ ;  $N^{-1}(\cdot)$  – обратная функция стандартного нормального распределения.

**Ключевая проблема** здесь заключается в том, что указанные предпосылки теоретико-вероятностной модели Васичека нарушаются. Первая [8] – при адаптации модели регулятором. Вторая [9] – при верификации на реальных данных. Подробнее это рассмотрено в разделе 4.2.3.

### 3.2.2. Вероятностно-статистическая модель регулятора

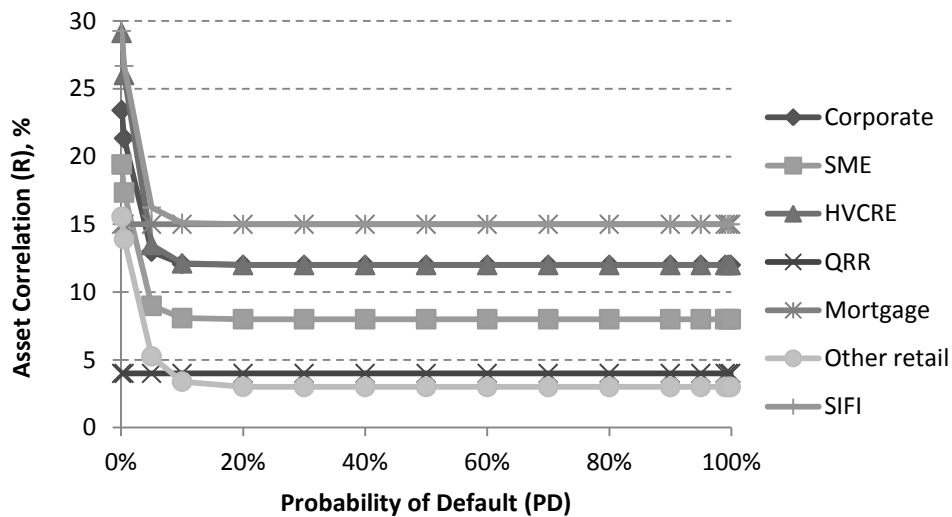
БКБН взял теоретико-вероятностную модель Васичека и адаптировал ее. Во-первых, он задал параметр  $p_Y(\tilde{y}) = 0,1\%$  (BCBS, 2005с, р. 11). (Zimper, 2014) считает такой уровень неадекватно завышенным. Во-вторых, он ввел дополнительные параметры:

- **LGD** (loss given default) – уровень потерь при дефолте.
- **EAD** (exposure at default) – сумма кредитного требования, подверженного риску дефолта.

В-третьих, БКБН статистически оценил параметр  $R_i$  и задал выражение для него:

$$R_i = R_{0,i} + R_{MIN,i} \cdot \left( \frac{1 - e^{-\eta \cdot PD_i}}{1 - e^{-\eta}} \right) + R_{MAX,i} \cdot \left( 1 - \frac{1 - e^{-\eta \cdot PD_i}}{1 - e^{-\eta}} \right), \quad [11]$$

где параметры  $\eta$ ,  $R_{0,i}$ ,  $R_{MIN,i}$ ,  $R_{MAX,i}$  зависят от типа кредитного требования (Penikas H., 2020a). Определяя параметр  $R_i$  таким образом, БКБН явно нарушает предпосылку модели Васичека [8]. Взаимосвязь между  $PD_i$  и  $R_i$  из [11] показана на Рис. 1.



**Рис. 1. Зависимость корреляции активов R и вероятности дефолта по БКБН.**

*Примечание: SIFI – требования к глобальным системно-значимым финансовым организациям; SME – требования к малым и средним предприятиям; corporate – требование к иным юридическим лицам; mortgage – требования по ипотеке; HVCRE – требования по объектам недвижимости с высоковолатильными ценовыми параметрами; QRR – требования по возобновляемым кредитным требованиям; Other retail – требования к иным заемщикам-физическим лицам. Данные категории используются в соглашениях Базель II (BCBS, 2006а), Базель III (BCBS, 2019а) и в России (Банк России, 2015а).*

В таком виде вероятностно-статистическую модель регулятора называют **подходом внутренних рейтингов, ПБР (internal-ratings-based, IRB)**. БКБН выделил два варианта перехода на ПБР:

базовый и продвинутый. В базовом от банка требуется разработать только эконометрические модели PD. В продвинутом – требуется дополнительно разработать модели LGD и EAD.

**Ключевая проблема** в такой адаптации модели Васичека регулятором заключается в следующем. Васичек предполагал наличие корреляции между непрерывно нормально распределенными доходностями активов. Регулятор требует от банков прогнозировать вероятность дефолта. Таким образом, он требует от банков рассматривать коррелированные дискретные события дефолта, а не коррелированные гауссовские. Следующие из такого противоречия искажения в оценке кредитного риска рассмотрены в разделах 4.2.1.

### 3.2.3. Ожидаемые и непредвиденные потери

Для включения ПБР в норматив достаточности капитала БКБН делит оценку меры кредитного риска  $\Gamma\Pi_\alpha$  на две части: на ожидаемые ( $EL_i$ ) и непредвиденные ( $UL_i$ ) потери (BCBS, 2005с):

$$\Gamma\Pi_\alpha = EL_i + UL_i, \quad [12]$$

$$\begin{aligned} EL_i &= PD_i \cdot LGD_i \cdot EAD_i; \\ \text{где} \quad UL_i &= (p_i(PD_i, 0.001) - PD_i) \cdot LGD_i \cdot EAD_i. \end{aligned} \quad [13]$$

Такой учет параметров  $PD_i$ ,  $LGD_i$ ,  $EAD_i$  активно критикуется в двух направлениях. Во-первых, определение [13] предполагает независимость  $PD_i$  и  $LGD_i$ . Тем не менее, исследования показывают, что существует их значимая положительная взаимосвязь ((Ozdemir & Miu, 2009), (Meng, Levy, Kaplin, Wang, & Hu, 2010), (Folpmers, 2012), (van Vuuren, de Jongh, & Verster, 2017)). Это явление называют **PLC (PD-LGD Correlation)**. Во-вторых, предположение наличия бесконечного числа малых по размеру ссуд не учитывает возможность **концентрации кредитного риска** и, как следствие, непропорционального вклада параметра  $EAD_i$  в оценку суммарного кредитного риска  $\Gamma\Pi_\alpha$ . Исследования же показывают, что концентрация увеличивает оценку кредитного риска при прочих равных (BCBS, 2001a, pp. par. 508-515), (Gordy M., 2004), (Gordy & Marrone, 2012), (Gordy & Lutkebohmert, 2013), (Дугин & Пеникас, 2016, стр. 71-85, гл. 3)).

**Ключевая проблема** здесь заключается в том, что никто ранее не рассматривал совместно реализацию обоих явлений: PLC и концентрацию кредитного риска, хотя они имеют место в действительности. Такая реализация будет исследована в разделе 4.1.1.

### 3.2.4. Норматив достаточности (адекватности) капитала CAR

Норматив достаточности (адекватности) капитала (capital adequacy ratio, CAR) – это отношение капитала банка  $K$  к величине принятых им рисков (risk-weighted assets, RWA):

$$CAR = \frac{K}{RWA} = \frac{\tilde{K} - EL}{RW \cdot (\tilde{A} - EL)} = \frac{\tilde{K} - EL}{\theta \cdot UL} \geq \frac{1}{\theta}, \quad [14]$$

где  $K = \tilde{K} - EL$  - это капитал банка  $\tilde{K}$  после уменьшения на сумму ожидаемых потерь  $EL$ ; а  $A = \tilde{A} - EL$  - это аналогичным образом уменьшенная сумма актива на балансе  $\tilde{A}$ ;  $RW$  - это риск-вес;  $\theta = 12.5$  - параметр. БКБН выбрал его так, чтобы установить требование к минимальному уровню норматива в  $1/\theta = 8\%$  (BCBS, 1988), (Penikas H., 2015). В России норматив CAR – это H1.0, H1.1, H1.2 в зависимости от рассматриваемого уровня капитала.

**Ключевых проблем** здесь две. Во-первых, никто ранее не исследовал, к каким последствиям ведет разделение совокупной оценки риска на компоненты  $EL_i$  и  $UL_i$ . Возникновение «регуляторного арбитража» в нормативе CAR как следствие такого разделения будет предъявлено в разделе 4. Во-вторых, никто не ставит под вопрос оптимальность самого норматива как показателя пруденциального банковского регулирования. Это будет рассмотрено в разделе 4.3.2.

### 3.2.5. Последствия для банков от использования математических моделей

После предоставления банкам возможности использовать ПБР с 2004 г. (BCBS, 2004), получилось исследовать, как такое использование сказывается на показателях деятельности банков. Авторы большей части работ, посвященных данному вопросу, приходят к выводу о негативном влиянии ПБР (см. Табл. 1).

**Табл. 1. Свод работ, исследовавших эффекты переходы банков на ПБР.**

| №  | Статья                                                     | Период данных | Регион    | Зависимая переменная | Эффект от ПБР |
|----|------------------------------------------------------------|---------------|-----------|----------------------|---------------|
| 1  | (Cucinelli, Di Battista, Marchese, & Nieri, 2018)          | 2008-2015     | ЕС        | RWA                  | +             |
| 2  | (Bruno, Nocera, & Resti, 2015)                             | 2008-2014     | ЕС        | RWA                  | +             |
| 3  | (Cummings & Durrani, 2016)                                 | 2003-2012     | Австралия | Резервы              | +             |
| 4  | (Berg & Koziol, 2017)                                      | 2008-2012     | Германия  | PD                   | -             |
| 5  | (Montes, Artigas, Cristófoli, & San Segundo, 2016)         | 2014          | ЕС        | RWA                  | -             |
| 6  | (Arroyo, Colomer, Garcia-Baena, & Gonzalez-Mosquera, 2012) | 2010          | ЕС        | RWA                  | -             |
| 7  | (Mariathan & Merrouche, 2014)                              | 2004-2010     | ОЭСР      | RWA                  | -             |
| 8  | (Ferri & Pesic, 2016)                                      | 2008-2013     | ЕС        | RWA                  | -             |
| 9  | (Behn, Haselmann, & Wachtel, 2014)                         | 2008-2011     | Германия  | PD                   | -             |
| 10 | (Behn, Haselmann, & Vig, 2016)                             | 2008-2012     | Германия  | PD                   | -             |

**Ключевой проблемой** здесь является то, что ранее не исследовались последствия от применения ПБР на стоимость банка. Как будет показано далее в разделе 4.2.5, такой эффект также отрицателен.

## 3.3. Моделирование кредитного риска на уровне БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ

### 3.3.1. Стресс-тестирование

БКБН ожидает, что выполнение норматива CAR обеспечивает финансовую устойчивость банка. Тем не менее, он рекомендует проверять, будет ли выполняться норматив в гипотетическом кризисе. Так возникает необходимость в проведении **стресс-тестирования** ((Солнцев, Пестрова, & Мамонов, 2010), (Карминский, 2015, стр. 230), (Дугин & Пеникас, 2016, стр. 204-225, гл. 6), (BCBS, 2018), (BCBS, 2019с, pp. 30.45-30.47), (Столбов, 2019)). Регуляторы рекомендуют смоделировать параметры ПБР (PD, LGD, EAD) в стрессе ( (EBA, 2018), (BoE, 2019), (BoJ, 2019), (FRS, 2020)), но не показывают, как это сделать. Количественные результаты стресс-тестов на уровне параметров моделей раскрываются редко. Например, (Miu & Ozdemir, 2008) показывают, что в среднем вероятность дефолта  $PD_i$  возрастает на 118 базисных пункта в стрессе. (BoJ, 2019) указывает, что – на 40 базисных пунктов.

**Ключевая проблема** здесь заключается в том, что реализация кредитного риска портфеля ссуд в кризисе рассматривается в терминах средних, а не крайних реализаций. При этом не учитывается, что в кризис может возрасти не только средняя вероятность дефолта, но и корреляция дефолтов. Учету данных моментов посвящен раздел 4.3.

## 4. Основные результаты, выносимые на защиту

### 4.1. Моделирование кредитного риска на уровне ОТДЕЛЬНОЙ ССУДЫ

#### **4.1.1. Прогнозирование вероятности дефолта (PD)**

(Penikas Н. , 2020b) выявил детерминанты кредитного риска на примере крупнейших событий убытков в мире за последние 50 лет. (Ermolova & Penikas, 2017b) разработали модель прогноза вероятности дефолта для крупнейших российских компаний, у которых есть обращающиеся на бирже облигации. (Lozinskaia, Merikas, Merika, & Penikas, 2017) разработали модель прогноза вероятности дефолта для мировых судовых компаний. В обеих работах предполагается гауссовское совместное распределение признаков внутри классов (дефолтов и недефолтов). (Пеникас, 2014) продемонстрировал преимущества использования копул для моделирования совместных негауссовских распределений доходностей отдельных активов. (Khankov & Penikas, 2015) продемонстрировали применение копул в рамках CODA для решения задач прогнозирования вероятности дефолта для российских компаний и банков.

#### **4.1.2. Исследование PLC и концентрации**

(Ermolova & Penikas, 2017b, стр. 347) выявили на данных, что корреляция PD-LGD (PLC) составляет +29% для крупных заемщиков-предприятий в России. (Ermolova & Penikas, 2019) доказали, что учет одновременного наличия эффектов PLC и концентрации кредитного риска повышает недооценку риска по сравнению с суммой эффектов отдельных явлений. Показано, что в целом совместный эффект увеличивает недооценку кредитного риска примерно в два раза по сравнению с текущим ПБР.

### **4.2. Моделирование кредитного риска на уровне ПОРТФЕЛЯ ССУД**

#### **4.2.1. Параметризация корреляции активов и дефолтов**

(Penikas Н. , 2020d), (Merika, Penikas, & Merikas, 2020b) впервые обосновали формулу корреляции дефолтов  $\rho$  (корреляции между реализациями дискретных случайных величин, соответствующих событию дефолта):

$$\rho = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\overline{Var(DR)}}{\overline{DR} \cdot (1 - \overline{DR})} - \frac{1}{n-1}, \quad [15]$$

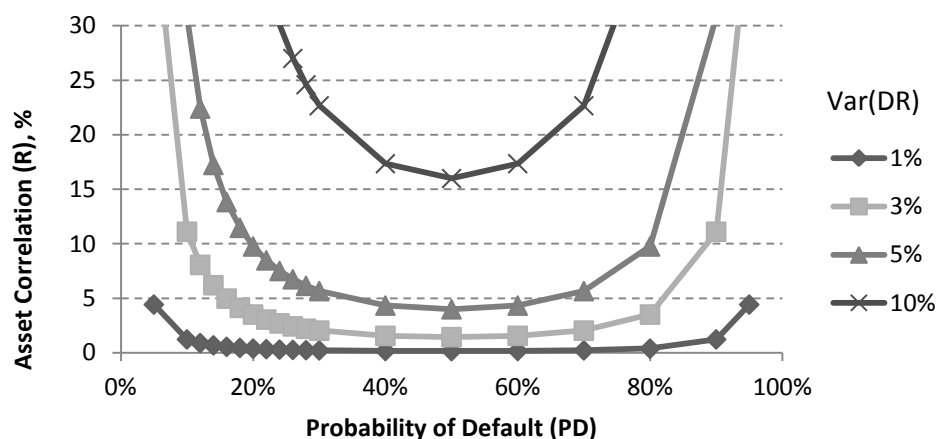
где  $\overline{DR}$  - средняя историческая (выборочная) доля дефолтов в сегменте (портфеле);  $Var(DR)$  - дисперсия доли дефолтов;  $n$  - число заемщиков в сегменте (портфеле), по которым рассчитана доля дефолтов; предполагается, что  $X_i$  и  $X_j$  ( $\forall i, j$ ) одинаково распределены и коэффициент попарной корреляции равен  $\rho = corr(X_i, X_j)$ . При значительном числе заемщиков оценка корреляции дефолтов стремится к следующему выражению:

$$\rho \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \frac{\overline{Var(DR)}}{\overline{DR} \cdot (1 - \overline{DR})}, \quad [16]$$

(Penikas Н. , 2020d) измерил масштаб искажения оценки кредитного риска между двумя случаями:

- 1) подход БКБН, предполагающий корреляцию между непрерывно нормально распределенными доходностями активов [11]; и
- 2) авторский подход, предполагающий корреляцию между дискретными событиями [5], [16].

(Penikas Н. , 2020d) показал, что подход БКБН не учитывает тот факт, что при вероятности дефолта больше 50% ее взаимосвязь с корреляцией активов становится возрастающей (сравните Рис. 2 и Рис. 1).



**Рис. 2. Взаимосвязь корреляции активов и вероятности дефолта в модели с бернуллиевскими случайными величинами (Penikas H. , 2020d).**

(Penikas H. , 2020d) измерил масштаб отклонения оценок кредитного риска в Табл. 2. В строках приведены значения коэффициента вариации (coefficient of variation, CV) для выборочной доли дефолтов  $\overline{DR}$ .

**Табл. 2. Отношение оценок кредитного риска по авторскому подходу и по подходу БКБН.**

|   | Тип кредитного требования | Corporate | SME     | HVCRE   | QRR     | Mortgage | Other retail | SIFI    |
|---|---------------------------|-----------|---------|---------|---------|----------|--------------|---------|
| 1 | CV = 20%                  | 54,33%    | 68,49%  | 53,00%  | 104,91% | 49,30%   | 91,96%       | 46,68%  |
| 2 | CV = 40%                  | 123,86%   | 156,15% | 120,84% | 239,18% | 112,40%  | 209,65%      | 106,42% |

Примечание: значения более 100% означают недооценку кредитного риска подходом БКБН, предполагающего коррелированных нормально распределенные доходности активов; значения менее 100% означают переоценку кредитного риска данных подходом БКБН.

#### 4.2.2. Двойные доверительные интервалы для проверки точности моделей PD

(Борзых & Пеникас, 2020) доказывают, что рекомендованные регуляторами процедуры ( BCBS, 2005a, pp. 45-47), (EBA, 2019, p. 20)) по проверке точности моделей вероятности дефолта не применимы, когда имеет место корреляция дефолтов. Для ее измерения на эмпирических данных используются формулы [15], [16].

**Табл. 3. Доверительные интервалы для PD = 20% на уровне доверия 95%.**

| процедура                                                                                    | Корреляция $\rho$ | эмпир. частота | длина интервала | левая граница части 1 | правая граница части 1 | левая граница части 2 | правая граница части 2 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Интервал Джеффри</b><br>(EBA, 2019, p. 20), (Brown, Cai, & DasGupta, 2001)                | 0%                | 92,3%          | 27,9%           | 8,8%                  | 36,7%                  |                       |                        |
| <b>«Биномиальный тест с корреляцией»</b><br>(BCBS, 2005a), (Blochwitz, Martin, & Wehn, 2006) | 80%               | 84,2%          | 88,7%           | 0,0%                  | 88,7%                  |                       |                        |
|                                                                                              | 30%               | 81,1%          | 32,8%           | 6,7%                  | 39,5%                  |                       |                        |
|                                                                                              | 0%                | 15,8%          | 0,0%            | 20,0%                 | 20,0%                  |                       |                        |
|                                                                                              | -3%               | 28,0%          | 3,3%            | 18,4%                 | 21,7%                  |                       |                        |
| <b>Авторский подход</b><br>(Борзых & Пеникас, 2020)                                          | 80%               | 95,8%          | 20,0%           | 0,0%                  | 10,0%                  | 90,0%                 | 100,0%                 |
|                                                                                              | 30%               | 95,9%          | 40,0%           | 4,0%                  | 24,0%                  | 40,0%                 | 60,0%                  |
|                                                                                              | 0%                | 97,2%          | 33,0%           | 7,0%                  | 40,0%                  |                       |                        |
|                                                                                              | -3%               | 97,2%          | 24,0%           | 10,0%                 | 34,0%                  |                       |                        |

В Табл. 3 показан пример для вероятности дефолта для отдельно взятого заемщика, равной 20%. Допустим, имеет место попарная корреляция дефолтов 80%. Все кредиты в портфеле одинаковые.

Тогда с вероятностью 95% все реализации выборочной доли дефолтов для портфеля таких ссуд будут лежать в интервале [0; 10%] и [90%; 100%]. Байесовский доверительный интервал Джеффри (Brown, Cai, & DasGupta, 2001, р. 108) в таком случае будет [8.8%; 36.7%]. «Биномиальный тест с корреляцией» дает самый длинный интервал [0; 88.7%]. Данный пример наглядно иллюстрирует недостаток двух последних процедур. Интервалы, соответствующие им, включают выборочную долю дефолтов, равную 20%. (Борzych & Пеникас, 2020) показывают, что при заданных параметрах таковая не наблюдается при рассмотренных уровнях доверия.

#### 4.2.3. Верификация предпосылок модели Васичека и ее модификация

(Penikas H. , 2020с), (Merika, Penikas, & Merikas, 2020b) доказывают нарушение предпосылки [9] теоретико-вероятностной модели Васичека. Обосновано наличие отрицательной взаимосвязи корреляции дефолтов и системного фактора.

(Penikas H. , 2020с) предложил модификацию модели Васичека для учета такой связи. Для этого вес  $\rho_i$  в формуле [4] при системном факторе должен стать переменным при неизменности  $PD_i$ . Тогда чем меньше значение системного фактора, тем больше должен быть его вклад в доходность актива, т.е.:

$$\text{Corr}(\rho_i, Y) < 0. \quad [17]$$

При этом целесообразно учесть принцип БКБН, заложенный в [11]. Тогда чем меньше реализация специфического фактора  $\varepsilon_i$ , тем выше вероятность дефолта  $PD_i$ , тем выше должен быть вес  $(1 - \rho_i)$ , тем ниже должен быть вес  $\rho_i$ , т.е.:

$$\text{Corr}(\rho_i, \varepsilon_i) > 0. \quad [18]$$

Тогда для модификации модели Васичека вес  $\rho_i$  необходимо определить следующим образом:

$$\rho_i = N(\varepsilon_i - Y), \quad [19]$$

Следовательно, выражение [4] для доходности актива  $r_A$  примет вид:

$$r_A = Y \cdot \rho_i + \varepsilon_i \cdot (1 - \rho_i), \quad [20]$$

На Рис. 3 распределение А построено на основе модели Васичека [3]; распределение В – на основе модифицированной автором модели [20]. Распределение В едино на обеих частях рисунка.

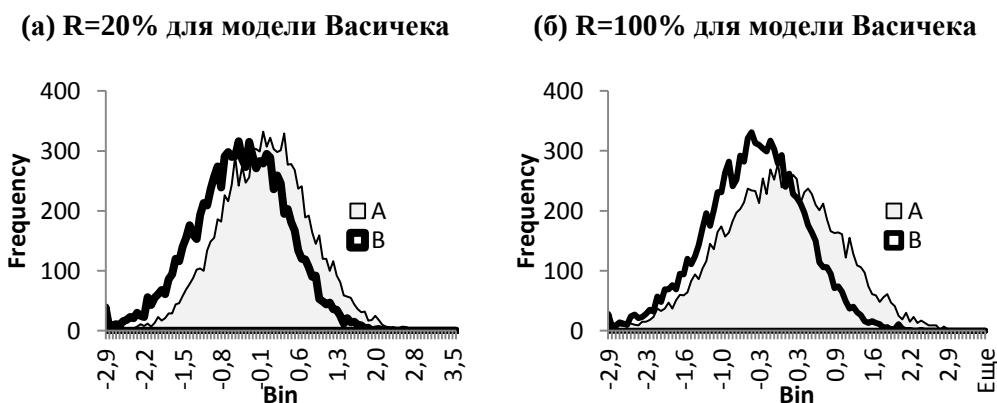


Рис. 3. При учете отрицательной взаимосвязи корреляции дефолтов и системного фактора распределение доходностей актива смещается влево (A → B).

(Penikas Н. , 2020с) показал, что при  $R_i = 20\%$  текущий ПВР недооценивает кредитный риск на 21% по сравнению с предложенной автором модификацией, учитывающей отрицательную связь системного фактора и корреляции дефолтов.

#### 4.2.4. «Регуляторный арбитраж» и искажение оценки риска в нормативе CAR

##### Использование продвинутого ПВР

(Penikas Н. , 2020а) впервые теоретически обосновал и эмпирически показал, что явление «регуляторного арбитража» может возникать при применении ПВР. В примере Табл. 4 показано, как при неизменной оценке кредитного риска в 24.47 единиц (см. столбец 10 Табл. 4) можно увеличить норматив CAR с 10.1% до 10.5% (см. столбец 11 Табл. 4).

(Penikas Н. , 2020а) показал, что в рамках продвинутого ПВР банки могут фокусироваться на сегментах, в которых им чаще будут не возвращать кредиты.

**Табл. 4. Увеличение доли ожидаемых потерь отражается в росте норматива CAR.**

| (1) | (2)                            | (3) | (4) | (5) | (6)  | (7)   | (8)                | (9)                         | (10)        | (11)  |
|-----|--------------------------------|-----|-----|-----|------|-------|--------------------|-----------------------------|-------------|-------|
| №   | $\tilde{K} > \Gamma\Pi_\alpha$ | PD  | LGD | EAD | EL   | UL    | $\Gamma\Pi_\alpha$ | EL, % от $\Gamma\Pi_\alpha$ | $\tilde{K}$ | CAR   |
| 1   | да                             | 5%  | 77% | 100 | 3,87 | 20,61 | 24,47              | 16%                         | 30          | 10,1% |
| 2   | да                             | 15% | 45% | 100 | 6,75 | 17,72 | 24,47              | 28%                         | 30          | 10,5% |

(Penikas Н. , 2020а) сформулировал рекомендации по исключению стимулов для возникновения явлений «регуляторного арбитража». Для этого вместо сравнения норматива CAR с минимальным уровнем необходимо сравнивать абсолютные значения капитала банка и принятых им рисков. Далее в разделе **Ошибка! Источник ссылки не найден.** будет показан пример такого сравнения для российских системно значимых банков.

##### Выделение низкодефолтного портфеля

(Пеникас, 2020) показал, что эффект «регуляторного арбитража» можно получить путем выделения низкодефолтных портфелей. В Табл. 5 приведен пример, где на одном массиве данных получается уменьшить оценку риска с 199.5 единиц до 184.0 (см. строки 3, 6 в столбце 8 Табл. 5) и увеличить норматив CAR с 8.5% до 9.5% (см. столбец 11). Для этого достаточно выделить группу наблюдений (LDP) с существенно меньшей долей дефолтов (2%), чем в целом для всех заемщиков без выделения (10%) (см. строки 4 и 6 в столбце 5).

**Табл. 5. Иллюстративный пример получения искусственной выгоды («регуляторного арбитража»).**

| <b>(а) расчет норматива CAR без выделения LDP</b>   |              |             |            |            |             |              |                    |                             |              |             |
|-----------------------------------------------------|--------------|-------------|------------|------------|-------------|--------------|--------------------|-----------------------------|--------------|-------------|
| (1)                                                 | (2)          | (3)         | (4)        | (5)        | (6)         | (7)          | (8)                | (9)                         | (10)         | (11)        |
| №                                                   | Портфель     | N           | D          | D/N        | EL          | UL           | $\Gamma\Pi_\alpha$ | EL, % от $\Gamma\Pi_\alpha$ | $\tilde{K}$  | CAR         |
| 1                                                   | LDP          | 500         | 50         | 10%        | 22,5        | 77,2         | 99,7               | 22,6%                       |              |             |
| 2                                                   | иной         | 500         | 50         | 10%        | 22,5        | 77,2         | 99,7               | 22,6%                       |              |             |
| 3                                                   | <b>ИТОГО</b> | <b>1000</b> | <b>100</b> | <b>10%</b> | <b>45,0</b> | <b>154,5</b> | <b>199,5</b>       | <b>22,6%</b>                | <b>210,0</b> | <b>8,5%</b> |
| <b>(б) расчет норматива CAR после выделения LDP</b> |              |             |            |            |             |              |                    |                             |              |             |
| №                                                   | Портфель     | N           | D          | D/N        | EL          | UL           | $\Gamma\Pi_\alpha$ | EL, % от $\Gamma\Pi_\alpha$ | $\tilde{K}$  | CAR         |
| 4                                                   | LDP          | 500         | 10         | 2%         | 4,5         | 45,9         | 50,4               | 8,9%                        |              |             |
| 5                                                   | иной         | 500         | 90         | 18%        | 40,5        | 93,1         | 133,6              | 30,3%                       |              |             |
| 6                                                   | <b>ИТОГО</b> | <b>1000</b> | <b>100</b> | <b>10%</b> | <b>45,0</b> | <b>139,0</b> | <b>184,0</b>       | <b>24,5%</b>                | <b>210,0</b> | <b>9,5%</b> |

Примечание: N – общее число наблюдений; D – число дефолтов.

(Пеникас, 2020) обосновал рекомендации для предотвращения такого «регуляторного арбитража». Для этого необходимо сравнивать оценку кредитного риска без выделения LDP и оценку с выделением. При выявлении «регуляторного арбитража» при выделении LDP регулятору целесообразно запрещать такое выделение.

#### 4.2.5. Эффект на стоимость банка от перехода на ПВР

(Penikas & Sirotkin, 2016) показали, что повышение частоты проведения операций хеджирования повышает их эффективность на уровне отдельных активов. На уровне банка (Titova, Penikas, & Gomaun, 2020) показали, что эффективное использование деривативов для хеджирования повышает стоимость банка. Одновременно они доказали, что чем больше значение норматива достаточности капитала у банка, тем больше стоимость европейского банка при прочих равных. (Merika, Merikas, Penikas, & Surkov, 2020a) показали, что важен не просто норматив достаточности капитала, а тот факт, использует ли банк для его расчета ПВР или нет. Доказано, что для банков Греции переход на ПВР отрицательно сказывается на стоимости банка при прочих равных.

### 4.3. Моделирование кредитного риска на уровне БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ

#### 4.3.1. Стресс-тестирование кредитного риска

(Merika, Penikas, & Merikas, 2020b) предложили методологию стресс-тестирования кредитного риска, в которой учтены упущенные предыдущими исследователями явления, имеющие место в реальной деятельности банка. Во-первых, смоделированы крайние реализации риска, а не средние. Во-вторых, смоделирован выявленный рост корреляции дефолтов при падении значений системного фактора в кризисе. В Табл. 6 даны полученные результаты.

Табл. 6. Результаты реализации процедуры стресс-тестирования.

| (1) | (2)      | (3)                                    | (4)                                   | (5)                                 | (6)  | (7)  | (8)   | (9)   |
|-----|----------|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------|------|-------|-------|
| #   | Сценарий | темпы<br>прироста<br>ВВП мира<br>в год | средняя доля<br>дефолтов в<br>стрессе | корреляция<br>дефолтов в<br>стрессе | q90  | q95  | q97.5 | q99   |
| 1   | некризис | 2,0%                                   | 1,1%                                  | 0,7%                                | 2,0% | 2,0% | 4,0%  | 10,0% |
| 2   | кризис   | -5,0%                                  | 2,8%                                  | 2,1%                                | 4,0% | 4,0% | 6,0%  | 22,0% |
| 3   | рецессия | -10,0%                                 | 2,8%                                  | 2,4%                                | 4,0% | 6,0% | 16,0% | 24,0% |

Примечание: qNN – квантиль уровня NN%.

(Merika, Penikas, & Merikas, 2020b) впервые показали, что доля дефолтов в стрессе может быть в восемь раз выше средней вероятности дефолта в стрессе. Рассмотрим уровень доверия 99% и сценарий падения мирового ВВП на -5%. Тогда получается, что средняя стрессовая доля дефолтов возрастает до 2.8% от общего числа заемщиков (см. строку 2 и столбец 4 в Табл. 6). Доля дефолтов в стрессе как значение меры риска  $ГП_{\alpha}$  равна 22,0% (см. строку 2 и столбец 9 в Табл. 6).

Табл. 7. Сравнение оценок кредитного риска по ПВР и по подходу для стресс-тестирования.

| №    | PD     | ПВР            |                  |                   |            | Авторский подход |       |       | q99.9<br>- IRB |
|------|--------|----------------|------------------|-------------------|------------|------------------|-------|-------|----------------|
|      |        | Над-<br>бавка* | PD +<br>надбавка | Кор.<br>активов R | $\sqrt{R}$ | Кор.<br>дефолтов | q99.0 | q99.9 |                |
| Ист. | Данные |                |                  |                   |            | Данные           |       |       |                |
| 1    | 1.1%   | 13.6%          | 14.7%            | 18.9%             | 43.5%      | 0.7%             | 10.0% | 22.0% | 7.3%           |
| 2    | 2.8%   | 19.1%          | 21.9%            | 15.0%             | 38.7%      | 2.1%             | 22.0% | 32.0% | 10.1%          |
| 3    | 2.8%   | 19.1%          | 21.9%            | 15.0%             | 38.7%      | 2.4%             | 24.0% | 32.0% | 10.1%          |

Примечание: \* - поправка на эффект портфеля из-за корреляции активов

Поскольку оба подхода (БКБН и авторский) можно оценить для одинаковых уровней значимости, то можно увидеть из Табл. 7, что на уровне 99.9% подход БКБН недооценивает кредитный риск

примерно в полтора раза: на 7 процентных пунктов (22% против 15%, см. строку 1) для некризисного периода и на 10 процентных пунктов (32% против 22%, см. строки 2 и 3) – для кризисного.

#### 4.3.2. Использование норматива CAR для всей банковской системы

(Andrievskaya & Penikas, 2012) смоделировали значение норматива CAR с учетом знания распределения рисков и копул для всей банковской системы. (Ermolova, и др., 2020) впервые с использованием агентно-ориентированной модели (АОМ) показали, что для всех рассмотренных видов банковских систем наиболее эффективным правилом пруденциального банковского регулирования и надзора является требование к банку иметь неотрицательный капитал (см. Табл. 8), а не поддерживать минимальный уровень норматива CAR, что согласуется с выводами из 4.

**Табл. 8. Обобщение результатов исследования режимов пруденциального банковского регулирования и надзора в АОМ.**

| \спрэд<br>Вид банковской системы\ | Положительный:<br>$r_c > r_d$ | Нулевой:<br>$r_c = r_d$ | Отрицательный:<br>$r_c < r_d$ |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 10 банков, концентрир.            | Нет регул-я; $K > 0$          | $K > 0$                 | $K > 0$                       |
| 10 банков, равномерно             | CAR=20%                       | Нет регул-я             | Нет регул-я; $K > 0$          |
| 600 банков, концентрир.           | Все режимы                    | $K > 0$                 | $K > 0$                       |
| 600 банков, равномерно            | Все режимы                    | Все режимы              | Все режимы                    |

### 5. Значение для пруденциального банковского регулирования и надзора в России

#### 5.1. Выявленные искажения в оценке кредитного риска

В Табл. 9 сведены полученные автором оценки искажений в оценке кредитного риска от использования ПВР в текущем формате требований пруденциального банковского регулирования и надзора.

**Табл. 9. Выявленные эффекты искажения в оценке кредитного риска в ПВР.**

| №  | Содержание выявленной неадекватности текущего ПВР                                                                                                           | Вывод (эффект на оценку риска)                                                    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Существует положительная взаимосвязь PD-LGD (явление PLC) составляет в России +29%                                                                          | НЕдооценка на 60%                                                                 |
| 2  | Совместный эффект PLC и концентрации выше суммы отдельно взятых эффектов для LDP                                                                            | НЕдооценка на 170% (в 2.7 раз)                                                    |
| 3  | Использование предпосылки о коррелированных непрерывных доходностях активов противоречит фактическому требованию прогнозирования дискретных событий дефолта | ПЕРЕоценка в 5х раз на данных ( $CV < 20\%$ ); НЕдооценка на 140% при $CV = 40\%$ |
| 4  | Предпосылка о независимости динамики системного факта и корреляции дефолтов противоречит эмпирическим данным                                                | НЕдооценка на 32%                                                                 |
| 5  | Учет выявленной отрицательной взаимосвязи динамик системного фактора и корреляции дефолтов на уровне 99.9%                                                  | НЕдооценка на 50% (в 1.5 раза)                                                    |
| 6  | Регуляторный арбитраж (часть 1): более раннее признание дефолтов с помощью UTP                                                                              | ПЕРЕоценка на 70% в Б-ПВР; НЕдооценка на 6% в П-ПВР;                              |
| 7  | Регуляторный арбитраж (часть 2): Эффект от разделения оценки риска на две части (EL,UL)                                                                     | НЕдооценка до 65%                                                                 |
| 8  | Регуляторный арбитраж (часть 3): выделение низкодефолтных портфелей                                                                                         | НЕдооценка до 25%                                                                 |
| 9  | Стоимость банков, переходящих на ПВР, ниже, чем у остальных (на примере Греции)                                                                             | Спад темпа роста цен акций на 22% в год                                           |
| 10 | Использование норматива достаточности капитала в банковской системе                                                                                         | Снижение фин. стабильности                                                        |

## 5.2. Рекомендации на основе проведенного исследования

Для того чтобы указанные выше искажения в оценке кредитного риска в ПВР не привели к существенному снижению финансовой устойчивости системно-значимых российских банков после их перехода на ПВР в 2025 г. предлагается реализовать следующее:

- 1) Заменить регулирование достаточности капитала требованием поддержания неотрицательного капитала;
- 2) При невыборе опции из пункта выше перейти от регулирования достаточности капитала в виде относительного норматива CAR к абсолютному регулированию соотношения капитала и принятых рисков;
- 3) При сохранении ПВР заменить формулу корреляции активов на обоснованную в работе и ежегодно валидировать ее параметры аналогично процедуре, применимой банками к элементам PD, LGD, EAD;
- 4) Рекомендовать банкам стоять модели PD на объединенных данных, если выделение сегментов может вести к существенной искусственной выгоде («регуляторному арбитражу») банка;
- 5) При проверке точности моделей ПВР использовать двойные доверительные интервалы, когда имеет место положительная корреляция дефолтов;
- 6) При выявлении отклонений показателей, характеризующих точность и дискриминационную способность моделей от идеальных, вводить надбавку к оценке кредитного риска для компенсации возникающей недооценки;
- 7) Корректировать оценку кредитного риска на отрицательную связь системного фактора и корреляции дефолтов (активов).

## 5.3. Условный экономический эффект

Автором показано, что теоретико-вероятностная модель, лежащая в основе ПВР, содержит нереалистичные предпосылки; что адаптация этой модели регулятором не учитывает многие явления, наблюдаемые в реальных процессах управления кредитным риском, и дополнительно создает возможности для реализации «регуляторного арбитража». Все это приводит к значимым искажениям оценок кредитного риска, которые раньше не демонстрировались. В итоге снижается потенциал пруденциального банковского регулирования и надзора; стоимость банков, внедряющих ПВР, снижается относительно иных банков.

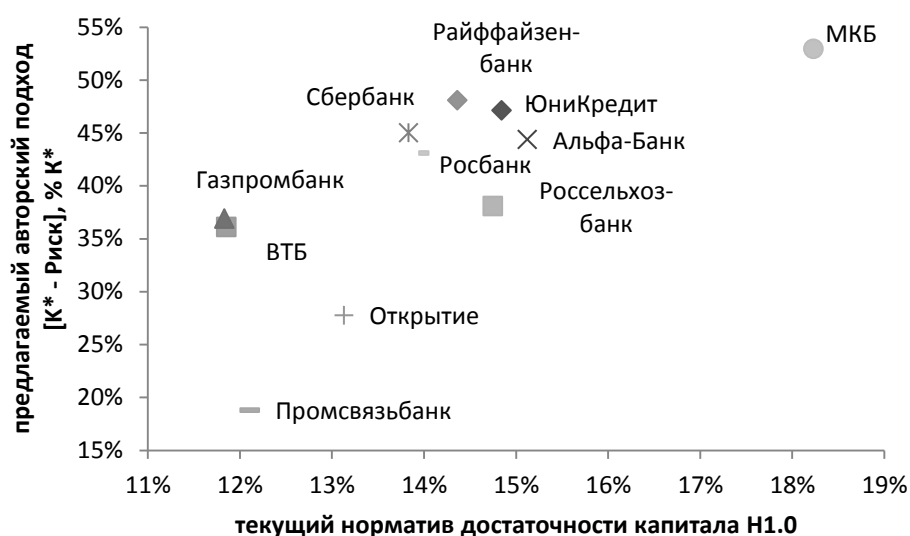


Рис. 4. Авторский подход позволяет сравнить запас капитала в банках после вычета рисков без искажений, вносимых нормативом Н1.0.

Примечание:  $K^*$  - это капитал  $\tilde{K}$  в формуле [14].

Указанное неблагоприятное влияние ПВР может существенно усилиться при изменении формата использования ПВР с добровольного на обязательный, как запланировано для крупнейших банков России в 2025 г. (Ведомости, 2020). Предложенные в работе модификации моделей оценки кредитного риска позволили бы избежать указанных негативных эффектов. Дополнительно повысилась бы информативность показателей кредитного риска банков для его стейкхолдеров.

В качестве демонстрации приложения полученных результатов, сравним все 11 российских системно-значимых банков (Айвазян, Андриевская, Коннолли, & Пеникас, 2011), (Банк России, 2019а). Покажем выводы, недоступные при рассмотрении существующего норматива достаточности капитала Н1.0. Например, по состоянию на 01 апреля 2020 г. наименьшее значение норматива достаточности капитала Н1.0 наблюдается у двух из 11 российских системно-значимых банков: ВТБ и Газпромбанка (Рис. 4). Тем не менее, если сравнить капитал с общей суммой риска без ее разделения на ожидаемые и непредвиденные потери, как обосновано в разделах 4 и 4.3.2, то можно увидеть, что наименьший запас капитала имеет место у двух других банков: Открытие, Промсвязьбанк.

Авторский подход позволяет оценить запас капитала в стрессе в соответствии с методологией, обоснованной в разделе 4.3. Рассмотрим только эффект для кредитов предприятиям. Средняя историческая доля дефолтов за 17 лет составляет 6.1% от числа всех заемщиков, ее дисперсия получается 0.4% (Ermolova & Penikas, 2017b, стр. 339). Как выведено в формуле [16] из раздела 4.2.1, корреляция дефолта тогда равна 6.5%. При таких значениях среднего выборочной доли дефолтов и корреляции дефолтов квантиль уровня 99.9% для выборочной доли дефолтов составит 53.3%. Если предположить неизменными рыночный, операционный риски и кредитный риск по кредитам физическим лицам, то совокупный кредитного риск по кредитам предприятиям увеличится в 8.7 раз с 6.6 трлн. руб. до 57.6 трлн. руб. Такой прирост величины кредитного риска в стрессе в размере 53.7 трлн.руб. составляет 76% от суммы всех активов российских системно-значимых банков или 55% от активов всей российской банковской системы. Учет стрессовых оценок кредитного риска в нормативе Н1.0 представлен на Рис. 5. Для всех рассмотренных банков норматив Н1.0 в стрессе получается ниже минимального уровня в 8%.

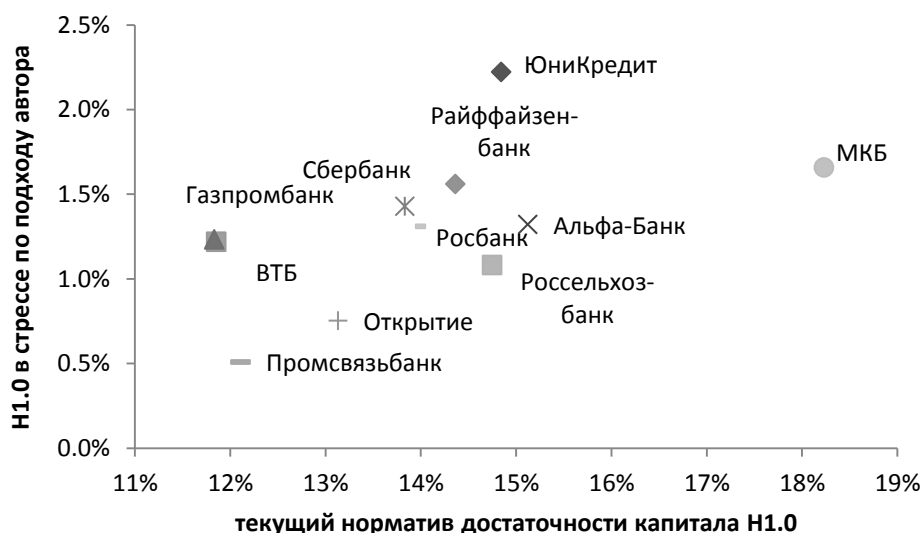


Рис. 5. Сравнение текущего значения норматива Н1.0 и значений в стрессе.

Регулятор, обладая подробными данными по каждому из банков, может реализовать подход автора и получить более точные оценки кредитного риска и нормативов. Анализ полученных результатов позволит при необходимости принять меры пруденциального банковского надзора для повышения финансовой стабильности отдельных банков и всей банковской системы России.

## 6. Список опубликованных работ

### *Монографии:*

- Дугин, А., Пеникас, Г. (Ред.). (2016). Разработка системы управления рисками и капиталом (ВПОДК). Москва: Юрайт.

### *Главы в учебниках:*

- Пеникас, Г. И. (2019). Банковская система. В Е. Ясин (Ред.), *Российская экономика: настоящее и перспективы после реформ. Курс лекций* (стр. 400-438). Москва: ИД ВШЭ.

### *Статьи в журналах, индексируемых в WoS/Scopus уровня Q1-Q2:*

1. Ermolova, M., Leonidov, A., Nechitaylo, V., Penikas, H., Pilnik, N., & Serebryannikova, E. (2020). Agent-based model of the Russian banking system: calibration for the maturity, interest rate spread, credit risk, and capital regulation. *Journal of Simulation*, DOI: 10.1080/17477778.2020.1774430.
2. Lozinskaia, A., Merikas, A., Merika, A., & Penikas, H. (2017). Determinants of the probability of default: the case of the internationally listed shipping corporations. *Maritime Policy & Management*, 4 (7), 837-858.
3. Titova, Y., Penikas, H., & Gomayun, N. (2020). The impact of hedging and trading derivatives on value, performance and risk of European banks. *Empirical Economics*, 58(2), 535-565.
4. Merika, A., Merikas, A., Penikas, H., & Surkov, M. (2020). The Basel II Internal Ratings Based (IRB) Model and the Transition Impact on the Listed Greek Banks. *Journal of Economic Asymmetries*, получена положительная рецензия.

### *Иные работы в журналах, индексируемых в WoS/Scopus:*

5. Andrievskaya, I., & Penikas, H. (2012). Copula-application to modelling Russian banking system capital adequacy according to Basel II IRB-approach. *Model Assisted Statistics and Applications*, 7, 267–280.
6. Пеникас, Г. И. (2014). Иерархические копулы в моделировании рисков инвестиционного портфеля. *Прикладная эконометрика*, 35(3), 18-38.
7. Ermolova, M. D., & Penikas, H. I. (2017). PD-LGD correlation study: Evidence from the Russian corporate bond market. *Model Assisted Statistics and Applications*, 12(4), 335-358.
8. Ermolova, M. D., & Penikas, H. I. (2019). The Impact of PD-LGD Correlation on Bank Capital Adequacy in Nongranular Loan Portfolio. *Model Assisted Statistics and Applications*, 14(1), 103-120.
9. Penikas, H. I., & Sirotkin, I. (2016). Optimal hedging ratio modeling using interday and intraday risk estimation: Moving window regression vs. cointegration approach. *Model Assisted Statistics and Applications*, 11(1), 1-12.
10. Penikas, H. (2020). History of the Basel internal-ratings-based (IRB) credit risk regulation. *Model Assisted Statistics and Applications*, 15, 81-98.
11. Penikas, H. (2020). History of the World Largest Credit Risk Losses in 1972-2018. *Экономический журнал ВШЭ* (1), 1-19.
12. Penikas, H. (2020). Why the conservative IRB credit risk model underestimates losses? *CEUR Workshop Proceedings Series. Conference “Modeling and Analysis of Complex Systems” (MACSPro)*, доклад принят на конференцию.

### *Работы в журналах, входящих в список ВАК:*

13. Айвазян, С. А., Андриевская, И. К., Коннолли, Р., & Пеникас, Г. И. (2011). Выявление системно значимых финансовых организаций: обзор методологий. *Деньги и кредит*, 8, 13-18.
14. Пеникас, Г. (2020). Низкодефолтные кредитные портфели (LDP) для ПБР как частный случай существенно несбалансированных классов в моделях бинарного выбора. *Деньги и кредит*. 79(2), с. 101-128.

### *Иные работы:*

15. Penikas, H. (2015). History of banking regulation as developed by the Basel Committee on banking supervision in 1974 – 2014 (brief overview). *Financial Stability Journal*, 28(5), 9-47.
16. Penikas, H. (2020). IRB Asset and Default Correlation Parametrization: Rationale for the Macroprudential Add-Ons to the Risk-Weights. Bank of Russia Working Paper Series No. 56. URL: [https://www.cbr.ru/Content/Document/File/108514/wp-56\\_e.pdf](https://www.cbr.ru/Content/Document/File/108514/wp-56_e.pdf)

## 7. Список литературы

- Adam, A., Houkari, M., & Laurent, J.-P. (2007, July 19). *Spectral Risk Measures and Portfolio Selection*. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=2742797>
- Aikman, D., Bridges, J., Kashyap, A., & Siebert, C. (2019). Would Macroprudential Regulation Have Prevented the Last Crisis? *Journal of Economic Perspectives*, 33(1), 107–130.
- Akdogan, I. U. (2020). The effects of macroprudential policies on managing capital flows. *Empirical Economics*, 583–603.
- Altman, E. (2018). A fifty-year retrospective on credit risk models, the Altman Z-score family of models and their applications to financial markets and managerial strategies. *The Journal of Credit Risk, IRMC 10th Anniversary Special Issue*, 1–34.
- Andrievskaya, I., & Penikas, H. (2012). Copula-application to modelling Russian banking system capital adequacy according to Basel II IRB-approach. *Model Assisted Statistics and Applications*, 7, 267–280.
- Arroyo, J. M., Colomer, I., Garcia-Baena, R., & Gonzalez-Mosquera, L. (2012). Comparing Risk-Weighted Assets: the Importance of Supervisory Validation Processes. *Finacial Stability Journal of the Bank of Spain*(22), 9–29.
- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J.-M., & Heath, D. (1999). Coherent risk measures. *Mathematical Finance*, 9(3), 203–228.
- Basten, C. (2020). Higher Bank Capital Requirements and Mortgage Pricing: Evidence from the Counter-Cyclical Capital Buffer. *Review of Finance*, 24(2), 453–495.
- BCBS. (1988, July). *International convergence of capital measurement and capital standards (updated to april 1998)*. Retrieved December 25, 2019, from Basel Committee on Banking Supervision: <https://www.bis.org/publ/bcbsc111.pdf>
- BCBS. (2000a, January 01). *Credit ratings and complementary sources of credit quality information*. Retrieved from Basel Committee on Banking Supervision Website: [http://www.bis.org/publ/bcbs\\_wp3.htm](http://www.bis.org/publ/bcbs_wp3.htm)
- BCBS. (2001a, January 16). *Basel II: The New Basel Capital Accord*. Retrieved September 27, 2019, from Basel Committee on Banking Supervision: <https://www.bis.org/publ/bcbscp02.htm>
- BCBS. (2004, June 26). *Basel II: International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: a Revised Framework*. Retrieved September 27, 2019, from Basel Committee on Banking Supervision: <https://www.bis.org/publ/bcbs107.htm>
- BCBS. (2005a, May 19). *Studies on the Validation on Internal Rating Systems*. Retrieved December 25, 2019, from Basel Committee on Banking Supervision: [https://www.bis.org/publ/bcbs\\_wp14.htm](https://www.bis.org/publ/bcbs_wp14.htm)
- BCBS. (2005b, September). *Validation of low-default portfolios in the Basel II Framework*. Retrieved from Basel Committee on Banking Supervision: [http://www.bis.org/publ/bcbs\\_n16.htm](http://www.bis.org/publ/bcbs_n16.htm)
- BCBS. (2005c, July 01). *An Explanatory Note on the Basel II IRB Risk Weight Functions*. Retrieved Novembre 12, 2018, from Basel Committee on Banking Supervision: <http://www.bis.org/bcbs/irbriskweight.htm>
- BCBS. (2006a, June 30). *Basel II: International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: A Revised Framework - Comprehensive Version*. Retrieved September 27, 2019, from Basel Committee on Banking Supervision: <https://www.bis.org/publ/bcbs128.htm>
- BCBS. (2009, March). *Range of practices and issues in economic capital frameworks*. Retrieved from Basel Committee on Banking Supervision: <https://www.bis.org/publ/bcbs152.pdf>
- BCBS. (2018, October 17). *Stress testing principles*. Retrieved from Basel Committee on Banking Supervision: <https://www.bis.org/bcbs/publ/d450.htm>
- BCBS. (2019a, December 16). *CRE - Calculation of RWA for credit risk*. Retrieved December 25, 2019, from Basel Committee on Banking Supervision: [https://www.bis.org/basel\\_framework/standard/CRE.htm](https://www.bis.org/basel_framework/standard/CRE.htm)
- BCBS. (2019b, December 15). *BCP - Core Principles for effective banking supervision*. Retrieved from Basel Committee on Banking Supervision: [https://www.bis.org/basel\\_framework/standard/BCP.htm](https://www.bis.org/basel_framework/standard/BCP.htm)
- BCBS. (2019c, December 15). *SRP30 - Supervisory review process*. Retrieved from Basel Committee on Banking Supervision: [https://www.bis.org/basel\\_framework/chapter/SRP/30.htm?inforce=20191215](https://www.bis.org/basel_framework/chapter/SRP/30.htm?inforce=20191215)
- Behn, M., Haselmann, R., & Vig, V. (2016). The Limits of Model-based Regulation. *European Central Bank Working paper series*.
- Behn, M., Haselmann, R., & Wachtel, P. (2014). Procyclical capital regulation and lending. *Journal of Finance*, LXXI(2), 919–956.
- Berg, T., & Koziol, P. (2017). An analysis of the consistency of banks' internal ratings. *Journal of Banking and Finance*(78), 27–41.
- BIS. (2020, February 19). *Measuring the effectiveness of macroprudential policies using supervisory bank-level data*. Retrieved from Bank for International Settlements (Asian Office) Research And Publications: <https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap110.htm>

- Blochwitz, S., Martin, M., & Wehn, C. (2006). XIII. Statistical Approaches to PD Validation. B B. Engelmann, & R. Rauhmeier (Ред.), *The Basel II Risk Parameters. Estimation, Validation, Stress-Testing - with Applications to Loan Risk Management* (стр. 289-306). London: Springer.
- BoE. (2019, March). *Stress testing the UK banking system: 2019 guidance for participating banks and building societies*. Retrieved April 15, 2020, from Bank of England: <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/stress-testing/2019/stress-testing-the-uk-banking-system-2019-guidance.pdf?la=en&hash=4455242F75CB2CBF9DD0565ECFC5B9BE444DDE0D>
- BoJ. (2019, May). *A Forecast Model for the Probability of Default Based on Granular Firm-Level Data and Its Application to Stress Testing*. Retrieved April 15, 2020, from Bank of Japan: <https://www.boj.or.jp/en/research/brp/fsr/data/fsrb190531.pdf>
- Borio, C., & Zhu, H. (2008, August 4). *Risk-taking: a missing link in the transmission mechanism?* Retrieved from BIS: [https://www.bcb.gov.br/Pec/Depep/Seminarios/2008\\_XSemAnualMetasInflBCB/Arquivos/2008\\_XSemAnualMetasInflBCB\\_HaibinZhu.pdf](https://www.bcb.gov.br/Pec/Depep/Seminarios/2008_XSemAnualMetasInflBCB/Arquivos/2008_XSemAnualMetasInflBCB_HaibinZhu.pdf)
- Brown, L., Cai, T., & DasGupta, A. (2001). Interval Estimation for a Binomial Proportion. *Statistical Science*, 16(2), 101-133.
- Brown, L., Cai, T., & DasGupta, A. (2001). Interval Estimation for a Binomial Proportion. *Statistical Science*, 16(2), 101-133.
- Bruno, B., Nocera, G., & Resti, A. (2015). The credibility of European banks' risk-weighted capital: structural differences or national segmentations? *BAFFI CAREFIN Centre Research Paper Series*(9), 36.
- Bruno, V., & Shin, H. S. (2012, July 06). *Capital Flows and the Risk-Taking Channel of Monetary Policy*. Retrieved from <https://www.bis.org/events/conf120621/shin.pdf>
- Buchak, G., Matvos, G., Piskorski, T., & Seru, A. (2020, January). *Beyond the balance sheet model of banking: implications for bank regulation and monetary policy*. Retrieved from National Bureau of Economic Research (NBER): <https://www.nber.org/papers/w25149>
- Carney, M. (2020, March 05). *The Grand Unifying Theory (and practice) of Macroprudential Policy*. Retrieved from Speech at the Logan Hall, University College London: <https://www.bis.org/review/r200306c.pdf>
- Cecchetti, S. G., & Li, L. (2005, December). *Do Capital Adequacy Requirements Matter for Monetary Policy?* Retrieved from NBER Working Paper No. 11830: <https://www.nber.org/papers/w11830>
- Cucinelli, D., Di Battista, M., Marchese, M., & Nieri, L. (2018). Credit risk in European banks: The bright side of the internal ratings based approach. *Journal of Banking and Finance*(93), 213-229.
- Cummings, J., & Durrani, K. (2016). Effect of the Basel Accord capital requirements on the loan-loss provisioning practices of Australian banks. *Journal of Banking & Finance*, 67, 23-36. doi:10.1016/j.jbankfin.2016.02.009
- Danilova, E., & Morozov, M. (2017, December 28). *The macroprudential policy framework in Russia*. Retrieved from BIS Papers No. 94. Macroprudential frameworks, implementation and relationship with other policies: <https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap94.pdf>
- Dautović, E. (2019, June). *Has regulatory capital made banks safer? Skin in the game vs moral hazard*. Retrieved from European Systemic Risk Board Working Paper Series No 91: <https://www.esrb.europa.eu/pub/pdf/wp/esrb.wp91~4c70a46630.en.pdf>
- Dell'Ariccia, G. (2013, June). *Monetary Policy and the Risk-Taking Channel: Theory and Policy Implications*. Retrieved from CEPR: <https://cepr.org/sites/default/files/news/Dell%27Ariccia%27.pdf>
- Dewatripont, M., & Tirole, J. (1994). *The prudential regulation of banks*. Massachusets: MIT press.
- Duprey, T., & Ueberfeldt, A. (2020, January 28). *Managing GDP Tail Risk*. Retrieved from Bank of Canada Staff Working Paper/Document de travail du personnel — 2020-03: <https://www.bankofcanada.ca/wp-content/uploads/2020/01/swp2020-3.pdf>
- EBA. (2018, July 19). *Final Report on Guidelines on institutions' stress testing*. Retrieved April 15, 2020, from European Banking Authority: [https://eba.europa.eu/sites/default/documents/files/documents/10180/2282644/2b604bc8-fd08-4b17-ac4a-cdd5e662b802/Guidelines%20on%20institutions%20stress%20testing%20\(EBA-GL-2018-04\).pdf](https://eba.europa.eu/sites/default/documents/files/documents/10180/2282644/2b604bc8-fd08-4b17-ac4a-cdd5e662b802/Guidelines%20on%20institutions%20stress%20testing%20(EBA-GL-2018-04).pdf)
- EBA. (2019, February). *Instructions for reporting the validation results of internal models. IRB Pillar I models for credit risk*. Retrieved December 15, 2019, from European Banking Authority: [https://www.bankingsupervision.europa.eu/banking/tasks/internal\\_models/shared/pdf/instructions\\_validation\\_reporting\\_credit\\_risk.en.pdf](https://www.bankingsupervision.europa.eu/banking/tasks/internal_models/shared/pdf/instructions_validation_reporting_credit_risk.en.pdf)
- Ermolova, M. D., & Penikas, H. I. (2017b). PD-LGD correlation study: Evidence from the Russian corporate bond market. *Model Assisted Statistics and Applications*, 12(4), 335-358.
- Ermolova, M. D., & Penikas, H. I. (2019). The Impact of PD-LGD Correlation on Bank Capital Adequacy in Nongranular Loan Portfolio. *Model Assisted Statistics and Applications*, 14(1), 103-120.

- Ermolova, M., Leonidov, A., Nechitaylo, V., Penikas, H., Pilnik, N., & Serebryannikova, E. (2020). Agent-based model of the Russian banking system: calibration for the maturity, interest rate spread, credit risk, and capital regulation. *Journal of Simulation*, 10.1080/17477778.2020.1774430.
- Fantazzini, D., & Shangina, T. (2019). The importance of being informed: Forecasting market risk measures for the Russian rts index future using online data and implied volatility over two decade. *Прикладная эконометрика*, 55, 5-31.
- Ferri, G., & Pesic, V. (2016). Bank regulatory arbitrage via risk weighted assets dispersion. *J. Financ. Stab.*
- Folpmers, M. (2012). The Impact of PD-LGD Correlation on Expected Loss and Economic Capital. *Risk Professional*, 19 – 25. Получено из [http://www.garp.org/media/885775/risk\\_techniques\\_feb\\_2012.pdf](http://www.garp.org/media/885775/risk_techniques_feb_2012.pdf)
- FRS. (2020, March). *Dodd-Frank Act Stress Test 2020: Supervisory Stress Test Methodology*. Retrieved April 15, 2020, from Board of Governance of the Federal Reserve System: <https://www.federalreserve.gov/publications/files/2020-march-supervisory-stress-test-methodology.pdf>
- FSB. (2018, March 05). *Global Shadow Banking Monitoring Report 2017*. Retrieved from Financial Stability Board: <https://www.fsb.org/2018/03/global-shadow-banking-monitoring-report-2017/>
- Fungacova, Z., & Weill, L. (2013). Does Competition Influence Bank Failures? Evidence from Russia. *Economics of Transition*, 21(2), 301-322.
- Gaganis, C., Lozano-Vivas, A., Papadimitri, P., & Pasiouras, F. (2020). Macroprudential policies, corporate governance and bank risk: Cross-country evidence. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 169, 126–142.
- Gordy, M. (2000). A comparative anatomy of credit risk models. *Journal of Banking and Finance*, 24, 119-149.
- Gordy, M. (2004). Granularity adjustment in portfolio credit risk measurement. *Risk Measures for the 21st Century*. John Wiley & Sons.
- Gordy, M. B., & Heitfield, E. (2010). Small-Sample Estimation of Models of Portfolio Credit Risk. В М. Kijima, C. Hara, K. Tanaka, & Y. Muromachi (Ред.), *Recent Advances in Financial Engineering: The Proceedings of the KIER-TMU International Workshop on Financial Engineering 2009* (стр. 43-63).
- Gordy, M. B., & Marrone, J. (2012, July). Granularity adjustment for mark-to-market credit risk models. *Journal of Banking & Finance*, 36, 1896-1910.
- Gordy, M., & Lutkebohmert, E. (2013). Granularity Adjustment for Regulatory Capital Assessment. *International Journal of Central Banking*, 9(3), 35 – 71.
- Grammenos, C. N. (2008). Estimating the probability of default for shipping high yield bond issues. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(6), 1123–1138.
- Han, F., Zhao, T., & Liu, H. (2013). CODA: High Dimensional Copula Discriminant Analysis. *Journal of Machine Learning Research*, 14, 629-671.
- Harada, K., Ito, T., & Takahashi, S. (2010). Is the distance to default a good measure in predicting bank failures? Case studies. *National Bureau of Economic Research*(WP 16182).
- J.P. Morgan/Reuters. (1996). *RiskMetrics. Technical Document. Fourth Edition*. Получено из [http://pascal.iseg.utl.pt/~aafonso/eif/rm/TD4ePt\\_2.pdf](http://pascal.iseg.utl.pt/~aafonso/eif/rm/TD4ePt_2.pdf)
- Jimenez, G., Ongena, S., Peydro, J.-L., & Saurina, J. (2014). Hazardous times for monetary policy: what do twenty three million bank loans say about the effects of the monetary policy on credit risk-taking? *Econometrica*, 82(2), 463-505.
- Jorion, P. (2003). *Financial Risk Manager Handbook* (изд. 2nd). New York: John Wiley & Sons.
- Kahou, M. E., & Lehar, A. (2017). Macroprudential policy: A review. *Journal of Financial Stability*, 29, 92–105.
- Kavussanos, M. T. (2014). The determinants of credit spreads changes in global shipping bonds. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, 55–75.
- Kavussanos, M., & Tsouknidis, D. (2016). Default risk drivers in shipping bank loans. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 94, 71–94.
- Khankov, I., & Penikas, H. (2015). *Modelling Probability of Default of Russian Banks and Companies Using Copula Models*. Получено из University of Pavia. Series DEM "Department of Economics and Management Working Paper Series" No. 113: <http://dem-web.unipv.it/web/docs/dipeco/quad/ps/RePEc/pav/demwpp/DEMWP0113.pdf>
- Kosmetatos, P. (2014). The winding-up of the Ayr Bank, 1772–1827. *Financial History Review*, 21(2), 165-190.
- Kumar, P. R., & Ravi, V. (2007). Bankruptcy prediction in banks and firms via statistical and intelligent techniques: A review. *European journal of operational research*, 180(1), 1-28.

- Lozinskaia, A., Merikas, A., Merika, A., & Penikas, H. (2017). Determinants of the probability of default: the case of the internationally listed shipping corporations. *Maritime Policy & Management*, 4(7), 837-858.
- Malovaná, S., Kolcunová, D., & Brož, V. (2019). Does monetary policy influence banks' risk weights under the internal ratings-based approach? *Economic Systems*, 43.
- Mariathan, M., & Merrouche, O. (2014). The manipulation of basel risk-weights. *Journal of Financial Intermediation*, 22(3), 300-321.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7, 77-91.
- Meng, Q., Levy, A., Kaplin, A., Wang, Y., & Hu, Z. (. (2010, February 05). *Implications of PD-LGD Correlation in a Portfolio Setting*. Moody's Analytics. Retrieved December 09, 2019, from <https://www.moodyanalytics.com/-/media/whitepaper/before-2011/10-05-02-implications-of-pd-lgd-correlation-in-a-portfolio-setting.pdf>
- Merika, A., Merikas, A., Penikas, H., & Surkov, M. (2020a). The Basel II Internal Ratings Based (IRB) Model and the Transition Impact on the Listed Greek Banks. *Journal of Economic Asymmetries*, получена положительная рецензия.
- Merika, A., Penikas, H., & Merikas, A. (2020b). Stress-Testing and Credit Risk Revisited: A Shipping Sector Application. *Maritime Policy and Management*, подано в журнал.
- Merton, R. (1974). On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest. *Journal of Finance*, 29, 449-470.
- Meuleman, E., & Vennet, R. V. (2020). Macroprudential policy and bank systemic risk. *Journal of Financial Stability*, 47.
- Mishin, A. (2020, January). *Dynamic Bank Capital Regulation and Optimal Macroprudential Policies in the Presence of Shadow Banks*. Retrieved from Job Market Paper: [https://c722622c-dda4-4fcf-9af5-c82f7cb1076a.filesusr.com/ugd/f22857\\_3c3dad4e108a46d899c75b93130b3c43.pdf](https://c722622c-dda4-4fcf-9af5-c82f7cb1076a.filesusr.com/ugd/f22857_3c3dad4e108a46d899c75b93130b3c43.pdf)
- Miu, P., & Ozdemir, B. (2008, October 09). *Stress-Testing Probability of Default and Migration Rate with Respect to Basel II Requirements*. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=1365842>
- Montes, C., Artigas, C., Cristófoli, M., & San Segundo, N. (2016). The impact of the IRB approach on the risk weights of European banks. *Journal of Financial Stability*. doi:10.1016/j.jfs.2016.11.004
- Mourlon-Druol, E. (2015). 'Trust is good, control is better': The 1974 Herstatt Bank Crisis and its Implications for International Regulatory Reform. *Business History*, 57, 311-334. doi:10.1080/00076791.2014.950956
- Nijs, L. (2020). *The Handbook of Global Shadow Banking, Volume I: From Policy to Regulation*. Palgrave Macmillan.
- Ordoñez, G. (2018). Sustainable Shadow Banking. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 10(1), 33-56.
- Ozdemir, B., & Miu, P. (2009). *Basel II Implementation. A Guide to Developing and Validating a Compliant Internal Risk Rating System*. New York: McGrawHill.
- Penikas, H. (2015). History of banking regulation as developed by the Basel Committee on banking supervision in 1974 – 2014 (brief overview). *Financial Stability Journal*, 28(5), 9-47.
- Penikas, H. (2020a). History of the Basel internal-ratings-based (IRB) credit risk regulation. *Model Assisted Statistics and Applications*, 15, 81-98.
- Penikas, H. (2020b). History of the World Largest Credit Risk Losses in 1972-2018. *Экономический журнал ВШЭ*(1), 1-19.
- Penikas, H. (2020c). Why the conservative IRB credit risk model underestimates losses? *Modeling and Analysis of Complex Systems (MACSPro)* (стр. одобрено). Venice: Scopus-cited.
- Penikas, H. (2020d). *Basel IRB Asset and Default Correlation Parametrization*. Retrieved from Bank of Russia WP Series No. 56.
- Penikas, H. I., & Sirotkin, I. (2016). Optimal hedging ratio modeling using interday and intraday risk estimation: Moving window regression vs. cointegration approach. *Model Assisted Statistics and Applications*, 11(1), 1-12.
- Peresetsky, A., Karminsky, A., & Golovan, S. (2004). Probability of default models of Russian Banks. BOFIT. Получено из [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1015451](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1015451)
- Polizatto, V. P. (1989). *Prudential Regulation and Banking Supervision*. Retrieved from Background paper for the 1989 World Development Report WPS 340: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/389501468764981235/pdf/multi-page.pdf>
- Prasad, A., Elekdag, S., Jeasakul, P., Lafarguette, R., Alter, A., Feng, A. X., & Wang, C. (2019, February). *Growth at Risk: Concept and Application in IMF Country Surveillance*. Retrieved from IMF Working Paper WP/19/36: <https://www.imf.org/~/media/Files/Publications/WP/2019/WPIEA2019036.ashx>
- Qu, Y., Quan, P., Lei, M., & Shi, Y. (2019). Review of bankruptcy prediction using machine learning and deep learning techniques. *Procedia Computer Science*, 162, 895-899.

- Rockafellar, T., & Uryasev, S. (2013, January 26). *The fundamental risk quadrangle in risk management, optimization and statistical estimation*. Retrieved from <https://www.ise.ufl.edu/uryasev/files/2013/03/quadrangle.pdf>
- Rubio, M., & Unsal, D. F. (2020). Macroprudential policy under incomplete information. *The European Journal of Finance*, 26(7-8), 616-639.
- Sandal, K. (January 2004 г.). Resolution methods and fiscal costs. В *The Nordic banking crises in the early 1990's* (ср. 77-115).
- Scheungrab, E. (2013, March 28). *Copula based discriminant analysis with application*. Retrieved from Technische University at Munchen, Zentrum Mathematik, Master Thesis: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1166376/1166376.pdf>
- Sinkey, J. (1979). *Problem and Failed Institutions in the Commercial Banking Industry*. Jai Pr.
- Steigum, E. (2003). *Financial deregulation with a fixed exchange rate: Lessons from Norway's boom-bust cycle and banking crisis*. Handelshøyskolen BI, Centre for Monetary Economics (CME).
- Titova, Y., Penikas, H., & Gomayun, N. (2020). The impact of hedging and trading derivatives on value, performance and risk of European banks. *Empirical Economics*, 58(2), 535-565.
- v. Westernhagen, N., Harada, E., Nagata, T., Vale, B., Ayuso, J., Saurina, J., . . . Peristiani, S. (2004). *Bank Failures in Mature Economies*. Получено из Website of BIS: [http://www.bis.org/publ/bcbs\\_wp13.pdf](http://www.bis.org/publ/bcbs_wp13.pdf)
- van Vuuren, G., de Jongh, R., & Verster, T. (2017). The Impact Of PD-LGD Correlation on Expected Loss and Economic Capital. *International Business & Economics Research Journal*, 16(3), 157-172.
- Vasicek, O. (2002, December). *The Distribution of Loan Portfolio Value*. Retrieved July 20, 2018, from Reprinted in Risk in December 2002: <https://www.bankofgreece.gr/MediaAttachments/Vasicek.pdf>
- Witzany, J. (2013). A Note on the Vasicek's Model with the Logistic Distribution. *Ekonomický časopis*, 10, стр. 1053 – 1066.
- Zimper. (2014). The Minimal Confidence Levels of Basel Capital Regulation. *Journal of Banking Regulation*, 15(2), 129-43.
- Айвазян, С. А., Андриевская, И. К., Коннолли, Р., & Пеникас, Г. И. (2011). Выявление системно значимых финансовых организаций: обзор методологий. *Деньги и кредит*, 8, 13-18.
- Айвазян, С., & Мхитарян, В. (1998). *Прикладная статистика и основы эконометрики*. Москва: ЮНИТИ.
- Айвазян, С., & Мхитарян, В. (1998). *Прикладная статистика и основы эконометрики*. Москва: ЮНИТИ.
- Айвазян, С., & Фантащини, Д. (2015). *Эконометрика-2. Продвинутый курс с приложениями в финансах*. Москва: Магистр.
- Банк России. (06 августа 2015а г.). Положение от 06.08.2015 № 483-П "О порядке расчета величины кредитного риска на основе внутренних рейтингов".
- Банк России. (15 апреля 2015б г.). Указание Банка России № 3624-У "О требованиях к системе управления рисками и капиталом кредитной организации и банковской группы" (ред. от 27.06.2018).
- Банк России. (15 апреля 2015б г.). Указание Банка России № 3624-У "О требованиях к системе управления рисками и капиталом кредитной организации и банковской группы" (ред. от 27.06.2018).
- Банк России. (14 октября 2019а г.). *Перечень системно значимых кредитных организаций на 14.10.2019*. Получено из Сайт Банка России: [http://www.cbr.ru/banking\\_sector/credit/SystemBanks.html/](http://www.cbr.ru/banking_sector/credit/SystemBanks.html/)
- Битюцкий, В., & Пеникас, Г. (2016). Как внедрение МСФО (IFRS) 9 скажется на российских банках. *МСФО на практике*, 10, 38-43.
- Борzych, Д., & Пеникас, Г. (2020). Валидация точности моделей бинарного выбора в случае коррелированных исходов в приложении к задачам оценки кредитного риска. *Труды X-й Международной школы-семинара "Многомерный статистический анализ, эконометрика и моделирование реальных процессов" имени С.А. Айвазяна*. 1, стр. 35-37. Цахкадзор, Республика Армения: ЦЭМИ РАН.
- Ведомости. (23 январь 2020 г.). *ЦБ из-за санкций корректирует подходы к системно значимым банкам*. Получено из газета "Ведомости": <https://www.vedomosti.ru/finance/articles/2020/01/23/821343-sanktsii-sistemno-znachimie-banki>
- Дугин, А., & Пеникас, Г. (Ред.). (2016). *Разработка системы управления рисками и капиталом (ВПОДК)*. Москва: Юрайт.
- Ерпылева, Н. Ю. (2008). Пруденциальное регулирование банковской деятельности в России. *Юридическая работа в кредитной организации*(1), 101-122.
- Ивашковская, И. В. (2009). *Моделирование стоимости компании. Стратегическая ответственность советов директоров*. Москва: ИНФРА-М.

- Ивашковская, И., Патрин, И., & Скурихина, А. (2012). Детерминанты стратегической эффективности банков на развивающихся рынках капитала. *Журнал "Корпоративные финансы"*, 23(3), 5-21.
- Карминский, А. М. (2015). *Кредитные рейтинги и их моделирование*. Москва: ИД ВШЭ.
- Карминский, А., & Фролова, Э. (2015). Методы оценки стоимости коммерческого банка в условиях глобализации. *Вестник МГИМО Университета*, 3, 173-183.
- Макаров, В., Бахтизин, А., Сушко, Е., Васенин, В., Борисов, В., & Роганов, В. (2016). Агент-ориентированные модели: мировой опыт и технические возможности реализации на суперкомпьютерах. *Вестник Российской Академии наук*, 86(3), 252-262.
- Могилат, А. Н. (2019). Оценка финансовой устойчивости российских промышленных компаний, или О чем говорят банкротства. *Вопросы экономики*, 3, 101-118.
- Моисеев, С. Р. (2015). *История центральных банков и бумажных денег*. Москва: Вече.
- Пеникас, Г. (2010а). Модели «копула» в приложении к задачам финансов. *Журнал Новой экономической ассоциации*, 7, 24-44.
- Пеникас, Г. (2014). Иерархические копулы в моделировании рисков инвестиционного портфеля. *Прикладная эконометрика*, 35(3), 18-38.
- Пеникас, Г. (2020). Низкодефолтные кредитные портфели (LDP) для ПБР как частный случай существенно несбалансированных классов в моделях бинарного выбора. *Деньги и кредит*, в печати.
- Пеникас, Г. И. (2019). Банковская система. В Е. Ясин (Ред.), *Российская экономика: настоящее и перспективы после реформ. Курс лекций* (стр. 400-438). Москва: ИД ВШЭ.
- Пересецкий, А. А. (2012). *Эконометрические методы в дистанционном анализе деятельности российских банков*. Москва: ИД ВШЭ.
- Полтерович, В. М., & Старков, О. Ю. (2005). *Создание массовой ипотеки в России: проблема трансплантации*. Получено из Научные доклады НИИ менеджмента СПбГУ No R2-2005: <https://gsom.spbu.ru/files/upload/niim/publishing/polterovich.pdf>
- Полтерович, В. М., & Старков, О. Ю. (2007). Стратегия формирования ипотечного рынка в России. *Экономика и математические методы*, 43(4), 3-22.
- Симановский, А. Ю. (2007). Базельские принципы эффективного банковского надзора, издание второе. *Деньги и кредит*(1), 20-30.
- Солнцев, О., Пестрова, А., & Мамонов, М. (2010). Стресс-тест: потребуется ли российским банкам новая поддержка государства? *Вопросы экономики*(4), 61-81.
- Стежкин, А., & Шатохина, Ю. (2016). О надзоре за банками, использующими подход внутренних рейтингов к оценке кредитного риска (на примере Банка Англии). *Деньги и кредит*, 9, 47-53.
- Столбов, М. (2019). Индекс финансового стресса для России: новые подходы. *Экономический журнал ВШЭ*, 23(1), 2-60.
- Тотьмянина, К. (2011). Обзор моделей вероятности дефолта. *Управление финансовыми рисками*(1), 12-24.
- Фантаццини, Д. (2008). Управление кредитным риском. *Прикладная эконометрика*, 12(4), 84-137.
- Фантаццини, Д. (2009). Управление кредитным риском (продолжение). *Прикладная эконометрика*, 13(1), 105-138.