

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

ФАКУЛЬТЕТ ЭКОНОМИКИ

СБОРНИК СТАТЕЙ
АСПИРАНТОВ

2011



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет экономики

СБОРНИК СТАТЕЙ
АСПИРАНТОВ

2011



Издательский дом Высшей школы экономики
Москва 2012

УДК 330.1(08)

ББК 65я43

С23

Сборник статей аспирантов — 2011 [Электронный ресурс] / Нац. С23 исслед. ун-т «Высшая школа экономики», ф-т экономики ; науч. ред. К. А. Букин. — Электрон. текст. дан. (5,6 Мб). — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2012. — ISBN 978-5-7598-0935-7.

Сборник содержит научные статьи аспирантов факультета экономики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». Спектр направлений исследований широк — от построения макроэкономических моделей до изучения фондового рынка и корпоративных финансов.

Для преподавателей, студентов и аспирантов экономических специальностей.

УДК 330.1(08)

ББК 65я43

ISBN 978-5-7598-0935-7

© Оформление. Издательский дом
Высшей школы экономики, 2012

Содержание

<i>С.Л. Виленчик</i> Численное сравнение двух методов оценки для процесса авторегрессии первого порядка	5
<i>О.Ф. Лопатина</i> Микрокредитная организация (МКО) как единица сектора финансовых корпораций: определение границ подсектора в СНС ООН — 1993 и СНС ООН — 2008.....	15
<i>Н.Р. Макуев</i> Сравнение метода конечных разностей и метода конечных элементов, применяемых при оценке опционов, на примере двумерного линейного параболического уравнения.....	26
<i>Т.М. Милицкова</i> Детерминанты доходности рублевых корпоративных облигаций при их размещении	42
<i>Д.Н. Николаенко</i> Исчезновение пузыря как результат спекулятивной атаки	63
<i>Р.А. Садыков</i> Социальное положение и профессионализация врачей альтернативной медицины: аналитические перспективы	80
<i>М.В. Сеницын</i> Специфика функционирования рынков электроэнергии и основные модели их реформирования	97
<i>М.В. Сеницын</i> Опыт реформирования рынков электроэнергии в США и Европе и перспективы его применения в России	107

<i>О.В. Телякова</i>	
Обзор пенсионной системы Норвегии: до, во время и после реформы	126
<i>О.В. Телякова</i>	
Практические вопросы взаимодействия негосударственных пенсионных фондов и коммерческих банков в части исполнения условий депозитных договоров по инвестированию средств пенсионных резервов	137
<i>И.К. Чернышева</i>	
Минимизация расходов на выявление ВИЧ-инфицированных методом группового тестирования	146
<i>А.В. Щерба</i>	
Прогнозирование оценки суммы под риском в период нестабильного поведения российского рынка акций	169

С.Л. Виленчик
Научный
руководитель —
А.С. Шведов
Кафедра
математической
экономики
и эконометрики

Численное сравнение двух методов оценки для процесса авторегрессии первого порядка

Робастные методы в анализе временных рядов применяются достаточно давно. Однако изучение таких методов далеко от завершения. Известно, что в случае присутствия аддитивных шоков робастные оценки намного точнее, чем оценки, полученные с помощью метода наименьших квадратов (МНК). В данной работе с помощью метода Монте-Карло исследуется поведение оценок при увеличении частоты выбросов.

Введение

Применение робастных методов в эконометрике имеет давнюю историю. Формальное определение робастности, а вместе с ним и четкое изложение самих робастных методов появляется в середине прошлого века (см. [2; 3]). Сегодня существует большое число опубликованных исследований, в том числе несколько монографий, по робастным методам. То же относится и к робастным методам для временных рядов. Перечислим здесь лишь несколько работ, связанных с временными рядами: [5; 6; 7]. Один из основных методов робастного оценивания для временных рядов представлен в статье [6]. Полученные с помощью него оценки называются оценками *RA*. Эта аббревиатура означает «остаточные автоковариации». Именно сравнение *RA*-оценок и оценок МНК составляет содержание настоящей работы.

В первом разделе даются определения различных видов шоков. Второй раздел содержит описание классической оценки и ее робастной модификации. Численные результаты, полученные с использованием метода Монте-Карло, представлены в третьем разделе. Эти результаты уточняют степень превосходства робастных оценок в указанной ситуации.

1. Модель авторегрессии с аддитивными и инновационными шоками

Рассмотрим процесс авторегрессии $AR(1)$

$$w_t = a_1 w_{t-1} + u_t, \quad (1)$$

где $t = \overline{1, T}$, а u_1, \dots, u_T — независимые одинаково распределенные случайные величины. Будем считать этот ряд ненаблюдаемым. Наблюдаемым является

$$z_t = w_t + v_t, \quad (2)$$

где v_1, \dots, v_T — некоторые случайные величины.

Далее рассмотрим несколько случаев.

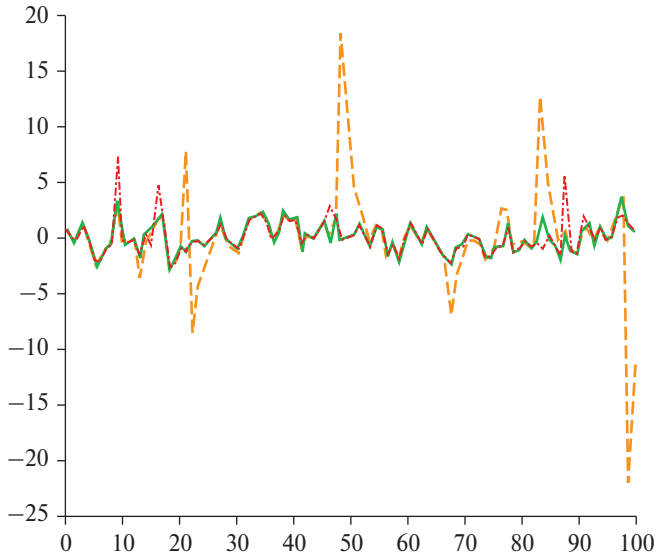
Если последовательность v_t состоит сплошь из нулей, а случайная величина u_t подчиняется закону нормального распределения $N(0, \sigma^2)$ то получаем *классический случай* авторегрессии первого порядка без шоков, для которой можно использовать классические оценки МНК. Соответствующий этой модели временной ряд, состоящий из 100 наблюдений, показан на рис. 1 (кривая А).

Пусть случайная величина u_t подчиняется закону нормального распределения $N(0, \sigma^2)$, а случайная величина v_t имеет распределение, устроенное следующим образом. С вероятностью $(1 - \varepsilon_A)$ случайная величина v_t равна 0, но с вероятностью ε_A она имеет нормальное распределение $N(0, \nu^2)$, причем $\nu^2 \geq \sigma^2$. В таком случае говорят об авторегрессии с *аддитивными шоками* (рис. 1(С)). Именно на ней сконцентрировано внимание в данной работе.

Если же последовательность v_t состоит из нулей, а случайная величина u_t с вероятностью $(1 - \varepsilon_I)$ подчиняется закону $N(0, \sigma^2)$, но с вероятностью ε_I распределена по закону $N(0, \tau^2)$, $\tau^2 \geq \sigma^2$, то перед нами $AR(1)$ с *шоками в инновациях* u_t (рис. 1 (В)).

Теперь рассмотрим более общий случай. Здесь налицо засорение *двумя видами шоков*. По-прежнему имеется ненаблюдаемый (1) и наблюдаемый (2) ряды. Здесь же рассмотрим независимые случайные величины $\xi_1, \dots, \xi_T, \eta_1, \dots, \eta_T$, каждая равномерно распределена на $[0; 1]$. Распределение случайной величины u_t задается следующим правилом:

$$u_t \sim \begin{cases} N(0, \sigma^2), & \text{при } \xi_t \leq 1 - \varepsilon_I \\ N(0, \tau^2), & \text{при } \xi_t > 1 - \varepsilon_I \end{cases}$$



- (A) — Реализация процесса $AR(1)$ без шоков,
 $\varepsilon_A = 0, \varepsilon_I = 0, a_1 = 0,5, \sigma^2 = 1.$
- (B) — Процесс $AR(1)$ с шоками в инновациях,
 $\varepsilon_A = 0, \varepsilon_I = 0,1 \tau^2 = 10.$
- (C) — $AR(1)$ с аддитивными шоками,
 $\varepsilon_A = 0,1 \varepsilon_I = 0,1, v^2 = 3\sqrt{\frac{4}{3}} \approx 3,5.$

Рис. 1

Распределение случайной величины v_t задается следующим правилом:

$$v_t \sim \begin{cases} 0, & \text{при } \eta_t \leq 1 - \varepsilon_A \\ N(0, v^2), & \text{при } \eta_t > 1 - \varepsilon_A \end{cases}$$

Замечание 1

Для случая с аддитивными шоками $v^2 = 9 \cdot \text{var}(w_t)$, где

$$\text{var}(w_t) = \frac{\sigma^2}{1 - a_1^2}.$$

Рисунок 1 иллюстрирует тот факт, что аддитивные шоки не влияют на поведение последующих членов, незатронутых выбросами. Напротив, присутствие в модели инновационных шоков меняет поведение нескольких последующих членов ряда.

2. Классическая оценка коэффициента a_1 и ее робастная модификация

Робастная модификация метода наименьших квадратов, предложенная в работе [6], основана на следующем подходе.

Рассмотрим авторегрессию первого порядка $AR(1)$

$$A(L)z_t = \varepsilon_t, \quad (3)$$

где ε_t — белый шум, а $A(L)$ — многочлен первой степени от оператора сдвига $Lz_t = z_{t-1}$, т.е.

$$A(L) = 1 - a_1 L.$$

Тогда (3) примет вид

$$z_t - a_1 z_{t-1} = \varepsilon_t.$$

Теперь предположим, что имеется временной ряд и пусть \hat{a}_1 — оценка для a_1 , полученная методом наименьших квадратов. Это значит, что \hat{a}_1 получена путем минимизации выражения

$$\sum_{t=2}^T (z_t - \hat{a}_1 z_{t-1})^2. \quad (4)$$

Перепишем (4) в следующем виде:

$$\sum_{t=2}^T (z_t^2 - 2\hat{a}_1 z_{t-1} z_t + \hat{a}_1^2 z_{t-1}^2).$$

Тогда необходимое условие минимума имеет вид:

$$\sum_{t=2}^T (-2z_{t-1} z_t + 2z_{t-1}^2 \hat{a}_1) = 0. \quad (5)$$

Теперь вынесем за скобку $-2z_{t-1}$,

$$\sum_{t=2}^T (-2z_{t-1} (z_t - z_{t-1} \hat{a}_1)) = 0.$$

Получаем

$$\sum_{t=2}^T \left(-z_{t-1} (z_t - z_{t-1} \hat{a}_1) \right) = 0. \quad (6)$$

Из (3) следует, что

$$z_{t-1} = \hat{A}(L)^{-1} \cdot r_{t-1},$$

где

$$\begin{aligned} r_t &= z_t - \hat{a}_1 z_{t-1} \quad \text{и} \\ \hat{A}(L) &= 1 - \hat{a}_1 L. \end{aligned} \quad (7)$$

Перепишем теперь (6) как

$$\sum_{t=2}^T \left(r_t \cdot \hat{A}(L)^{-1} \cdot r_{t-1} \right) = 0. \quad (8)$$

Так как $|a_1| < 1$,

$$\hat{A}(L)^{-1} = \frac{1}{1 - \hat{a}_1 L} = 1 + \hat{a}_1^1 L + \hat{a}_1^2 L + \hat{a}_1^3 L + \dots \quad (9)$$

Теперь подставим (9) в (8):

$$\sum_{t=2}^T \left(r_t \cdot \hat{A}(L)^{-1} \cdot r_{t-1} \right) = \sum_{t=2}^T \left(r_t \cdot (1 + \hat{a}_1^1 L + \hat{a}_1^2 L + \dots) \cdot r_{t-1} \right) = 0.$$

Будем считать, что $r_i = 0$ при $i \leq 1$. Тогда последнее равенство переписывается в виде

$$\sum_{t=3}^T \left(r_t \cdot \left(\sum_{h=0}^{\infty} r_{t-1-h} \cdot \hat{a}_1^h \right) \right) = 0$$

или в виде

$$\sum_{h=0}^{T-3} \hat{a}_1^h \cdot \gamma_{h+1}(\lambda) = 0, \quad (10)$$

где

$$\gamma_i(\lambda) = \sum_{t=2}^{T-i} r_{t+i} \cdot r_t. \quad (11)$$

Отличительной чертой равенства (10) является то, что данные представлены в нем в форме автоковариаций остатков r_t . Численное решение уравнения (10) и дает оценку \hat{a}_1 . Отметим, что в силу (7) от \hat{a}_1 зависят и $\gamma_i(\lambda)$.

В работе [6] предложен следующий алгоритм урезания остатков при расчетах автоковариаций. Величины $\gamma_i(\lambda)$ рассчитываются не по формуле (11), а по формуле

$$\gamma_i(\lambda) = \sum_{t=2+i}^T \eta\left(\frac{r_t}{\hat{\sigma}}, \frac{r_{t-i}}{\hat{\sigma}}\right),$$

где

$$\begin{aligned} \eta(u, v) &= \psi(u) \cdot \psi(v), \\ \psi(u) &= \text{sgn}(u) \cdot \min(|u|, c), \end{aligned}$$

c — настраиваемая константа,

$$\hat{\sigma} = \frac{\text{Med}(|r_2|, \dots, |r_T|)}{0,6745}. \quad (12)$$

При такой записи автоковариаций остатков оценка обладает свойством робастности. Подробнее о понятии робастности см., например, [4]. В монографии [8] показано, что величина $\hat{\sigma}$, рассчитанная по формуле (12), — это робастный аналог стандартного отклонения. Форма функции ψ позволяет в полном объеме учитывать только те наблюдения, которые по абсолютной величине не превышают константу c . Грубо говоря, такая функция позволяет отказаться от рассмотрения непосредственно шоков, шоки заменяются константой. В работе [6] показано, что использование данных оценок для аддитивных выбросов дает улучшенный результат по сравнению с обычными оценками МНК. Таким образом и получается оценка RA , о которой говорилось во введении.

Замечание 2

Теперь, чтобы получить искомую оценку RA , осталось решить данное уравнение относительно \hat{a}_1 .

$$\sum_{h=0}^{T-3} \hat{a}_1^h \cdot \sum_{t=3+h}^T \eta\left(\frac{r_t}{\hat{\sigma}}, \frac{r_{t-1-h}}{\hat{\sigma}}\right) = 0. \quad (13)$$

Замечание 3

Если в функции $\psi(u) = \text{sgn}(u) \cdot \min(|u|, c)$ рассмотреть $c = \infty$, то решение уравнения (13) также позволит получить классическую оценку МНК.

3. Эксперимент Монте-Карло

Рассмотрим для различных значений $\varepsilon_A, \varepsilon, N = 300$ созданных с помощью генератора случайных чисел рядов. В каждом ряду $T = 100$ членов. Для каждого ряда посчитаем среднее значение параметра \hat{a}_1 методом *RA* и методом МНК.

Для получения оценки *RA* решим (13) относительно \hat{a}_1 . Для получения оценки МНК решим (14) относительно \hat{a}_1 . Решение получим с помощью компьютерной программы математического моделирования MATLAB7.

При определении результативности оценок будут использоваться следующие критерии:

$$Mean_{RA} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{a}_{1,RA})_i, \text{ т.е. среднее оценки } RA;$$

$$Mean_{LS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{a}_{1,LS})_i \text{ — среднее оценки МНК};$$

$$MSE_{RA} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (a_1 - (\hat{a}_{1,RA})_i)^2 \text{ — среднее квадрата ошибки оценки } RA;$$

$$MSE_{LS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (a_1 - (\hat{a}_{1,LS})_i)^2 \text{ — среднее квадрата ошибки оценки МНК};$$

EFF — относительная эффективность оценки относительно оценки МНК, т.е. отношение MSE_{LS} к MSE_{RA} ;

$Bias2 = (Mean - a_1)^2$ — квадрат смещения оценки (считается для оценок *RA* и МНК);

$RELB = \frac{|Mean - a_1|}{|a_1|}$ — относительное смещение оценки (считается для оценок *RA* и МНК).

Результаты оценивания приводятся в следующих таблицах.

Таблица 1. Случай аддитивных шоков, $\varepsilon_A = 0,3$

	$a_1 = 0,5, \varepsilon_A = 0,3, \varepsilon_I = 0, \sigma^2 = 1, v^2 = 9 \cdot \text{var}(w_t)$				
Оценки	<i>Mean</i>	<i>MSE</i>	<i>EFF</i>	<i>Bias2</i>	<i>RELB</i>
МНК	0,1362	0,1448	1	0,1324	0,7277
RA	0,2409	0,0922	1,5712	0,0671	0,5181

Таблица 2. Случай аддитивных шоков, $\varepsilon_A = 0,2$

	$a_1 = 0,5, \varepsilon_A = 0,2, \varepsilon_I = 0, \sigma^2 = 1, v^2 = 9 \cdot \text{var}(w_t)$				
Оценки	<i>Mean</i>	<i>MSE</i>	<i>EFF</i>	<i>Bias2</i>	<i>RELB</i>
МНК	0,1845	0,1137	1	0,0995	0,6310
RA	0,3152	0,0634	1,7933	0,0342	0,3697

Таблица 3. Случай аддитивных шоков, $\varepsilon_A = 0,15$

	$a_1 = 0,5, \varepsilon_A = 0,15, \varepsilon_I = 0, \sigma^2 = 1, v^2 = 9 \cdot \text{var}(w_t)$				
Оценки	<i>Mean</i>	<i>MSE</i>	<i>EFF</i>	<i>Bias2</i>	<i>RELB</i>
МНК	0,2170	0,0938	1	0,0801	0,5659
RA	0,3527	0,0505	1,8541	0,0217	0,2947

Таблица 4. Случай аддитивных шоков, $\varepsilon_A = 0,1$

	$a_1 = 0,5, \varepsilon_A = 0,1, \varepsilon_I = 0, \sigma^2 = 1, v^2 = 9 \cdot \text{var}(w_t)$				
Оценки	<i>Mean</i>	<i>MSE</i>	<i>EFF</i>	<i>Bias2</i>	<i>RELB</i>
МНК	0,2781	0,0634	1	0,0492	0,4438
RA	0,4032	0,0386	1,6422	0,0094	0,1935

Таблица 5. Случай аддитивных шоков, $\varepsilon_A = 0,05$

	$a_1 = 0,5, \varepsilon_A = 0,05, \varepsilon_I = 0, \sigma^2 = 1, v^2 = 9 \cdot \text{var}(w_t)$				
Оценки	<i>Mean</i>	<i>MSE</i>	<i>EFF</i>	<i>Bias2</i>	<i>RELB</i>
МНК	0,3592	0,0338	1	0,0198	0,2816
RA	0,4461	0,0291	1,1600	0,0029	0,1077

Таблица 6. Случай аддитивных шоков, $\varepsilon_A = 0,025$

	$a_1 = 0,5, \varepsilon_A = 0,025, \varepsilon_I = 0, \sigma^2 = 1, \nu^2 = 9 \cdot \text{var}(w_t)$				
Оценки	<i>Mean</i>	<i>MSE</i>	<i>EFF</i>	<i>Bias2</i>	<i>RELB</i>
МНК	0,4162	0,0202	1	0,0070	0,1676
RA	0,4669	0,0257	0,7835	0,0011	0,0662

Таблица 7. Случай аддитивных шоков, $\varepsilon_A = 0,001$

	$a_1 = 0,5, \varepsilon_A = 0,001, \varepsilon_I = 0, \sigma^2 = 1, \nu^2 = 9 \cdot \text{var}(w_t)$				
Оценки	<i>Mean</i>	<i>MSE</i>	<i>EFF</i>	<i>Bias2</i>	<i>RELB</i>
МНК	0,4904	0,0089	1	≈ 0	0,0193
RA	0,4846	0,0230	0,3874	≈ 0	0,0308

Динамика показателей *Mean* и *MSE* из табл. 1–7 иллюстрирует, что оценки RA лучше работают до тех пор, пока шоки не составляют менее 1% от всех наблюдений. Кроме того, заметно преимущество оценок RA перед оценками МНК в случаях присутствия в модели относительно большого количества шоков. Так, для рассмотренных здесь значений ε_A от 0,1 до 0,3 в среднем эффективность оценок RA составляет более чем 1,5. Другой показатель качества оценки *Bias2* убывает последовательно со снижением засоренности ряда для обоих методов, причем вплоть до $\varepsilon_A = 0,025$ квадрат смещения оценки RA ниже квадрата смещения оценки МНК. Аналогичная ситуация сложилась и с показателем *RELB*.

В ходе дальнейшей работы представляется целесообразным повторение описанных выше опытов для рядов, в которых одновременно присутствуют шоки двух типов — аддитивные шоки и шоки в инновациях.

Источники

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. Т. 1, 2. М.: Мир, 1974.
2. Хампель Ф., Рончетти Э., Рауссеу П., Штаэль В. Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния. М.: Мир, 1989.
3. Хьюбер П. Робастность в статистике. М.: Мир, 1984.

4. Шведов А.С. Робастная регрессия с применением t -распределения и EM-алгоритма // Экономический журнал ВШЭ. 2011. Т. 15. № 1. С. 68–87.
5. Boente G., Fraiman R., Yohai V.J. Qualitative Robustness for Stochastic Processes // Annals of Statistics. 1987. Vol. 15. No. 3. P. 1293–1312.
6. Bustos O.H., Yohai V.J. Robust Estimates for ARMA Models // Journal of the American Statistical Association. 1986. Vol. 81. No. 393. P. 155–168.
7. Denby L., Martin R.D. Robust Estimation of the First-Order Autoregressive Parameter // Journal of the American Statistical Association. 1979. Vol. 74. No. 365. P. 140–146.
8. Maronna R.A., Martin D., Yohai V. Robust Statistics. Theory and Methods. Wiley, 2006.

© Виленчик С.Л., 2012

О.Ф. Лопатина
Научный
руководитель —
О.И. Образцова
Кафедра статистики

Микрокредитная организация (МКО) как единица сектора финансовых корпораций: определение границ подсектора в СНС ООН — 1993 и СНС ООН — 2008

Микрокредитование как инструмент финансовой политики получает все большее распространение, демонстрируя предпринимателям свою эффективность при решении финансовых проблем и выступая достаточно рентабельным видом деятельности для организаций, работающих в этом сегменте рынка. По мере увеличения числа микрокредитных организаций (МКО) во всем мире возрастает интерес исследователей к анализу их экономической деятельности. Но при анализе возникают проблемы определения МКО в международном учете, поскольку на текущий момент такого сектора нет в международном учетном стандарте (СНС ООН — 1993 и СНС ООН — 2008).

Национальное счетоводство в широком смысле представляет собой всеобъемлющую систему ведения первичного, бухгалтерского учета и статистики, основанную на единстве методологических принципов и завершаемую построением системы национальных счетов (СНС). Система показателей СНС отражает взаимосвязи между экономическими процессами и явлениями. СНС — своеобразная модель экономики, используемая для исследования экономической деятельности в масштабах страны и ее регионов на основе взаимосвязанных балансов (счетов), отражающих потоки движения продуктов и их финансовых эквивалентов между экономическими агентами в процессе совершения ими различных экономических операций. Но поскольку микро-

кредитование находится сегодня в стадии развития, такого сектора нет ни в международном учетном стандарте 1993 г., ни в новом стандарте 2008 г. Вместе с тем для детального анализа сектора микрокредитования необходимо понимать, какое место занимает данный сектор в системе национальных счетов. Именно этому важному вопросу, не затронутому на сегодняшний день в научных публикациях, посвящена настоящая статья.

В статье рассматривается понятие микрокредитования, перечислены институциональные единицы сектора микрокредитования, изучены основные тенденции его развития в России, определены границы этого сектора в рамках СНС ООН — 1993 и СНС ООН — 2008. Кроме того, описаны принципиальные отличия новой системы учета от старой, а также предпосылки перехода на новую систему международного учета СНС ООН — 2008.

Определение и сущность микрокредитования

В последние годы микрокредитование постепенно стало переходить из разряда некоего локального процесса, не имеющего четких целевых установок, к долгосрочным программам развития во многих странах мира, что привело к активному употреблению в международном научно-практическом обиходе специальных терминов, характеризующих технологический процесс предоставления микрокредитных услуг, выработке относительно устоявшегося понятийного аппарата. Владение этим аппаратом необходимо для правильного понимания сущности микрокредитования, разработки четкой концепции его развития в стране и подготовки соответствующих нормативных документов. Принимая во внимание тот факт, что микрокредитование является относительно новым видом кредитных услуг, большинство людей, непосредственно соприкасающихся с ним, понимают под микрокредитами просто кредиты в небольших объемах. В связи с этим дадим определение ключевым терминам, связанным с микрокредитованием.

Микрокредит — это заемные средства, размер которых устанавливается для определенных целевых групп нормативными документами и которые выдаются заемщикам по особому порядку (или методологии) предоставления. Сумма микрокредита определяется исходя из размера среднего займа по стране. В США средний кредит — это 39 тыс. долл., в Западной Европе — 13 тыс., в Восточной — 7 тыс., в России — 2 тыс.

долл. Как правило, микрокредит примерно вдвое меньше среднего, поэтому в России он составляет приблизительно 1 тыс. долл.

Микрокредитование выполняет социальные и экономические функции. К социальным относится, в частности, содействие сокращению бедности, сглаживанию социальной дифференциации в обществе, снижению уровня безработицы и т.д. Что касается экономических функций, то микрокредитование путем повышения доступности кредитных услуг способствует развитию сектора малого предпринимательства; позволяет укрепить и расширить финансовую систему как в целом, так и в отдельных ее сегментах; способствует формированию положительной кредитной истории для последующего получения кредитов в банках; является формой бизнеса, способного приносить доход учредителям микрокредитных организаций.

Существует целая инфраструктура, обслуживающая процесс микрокредитования, представленная различными МКО, ключевая функция которых состоит в посредничестве между потребителями микрокредитных услуг и источниками финансирования. Условно эти организации можно подразделить на две группы:

- 1) непосредственно осуществляющие микрокредитные операции;
- 2) оказывающие техническое содействие в организации процесса микрокредитования.

К МКО относятся неправительственные организации, кредитные кооперативы, ссудно-сберегательные ассоциации, кредитные союзы, различные фонды микрокредитования, государственные и коммерческие банки, квазибанки и др. Основная деятельность МКО — предоставление микрокредитных услуг целевым группам.

Тенденции развития микрокредитования в России

Рынок микрокредитования в России в период с 2003 по 2007 г. характеризуется положительной динамикой. Количество микрокредитных организаций (включая обособленные подразделения) в 2007 г. увеличилось по сравнению с 2003 г. на 42% [9]. Следует отметить, что число структурных подразделений в 2003–2007 гг. практически не менялось, а число обособленных подразделений увеличивалось. Это позволяет сделать вывод о том, что за пять лет практически не появилось новых игроков, а существующие расширили свою филиальную сеть. 2008 и 2009 гг. стали достаточно тяжелыми для российского рынка ми-

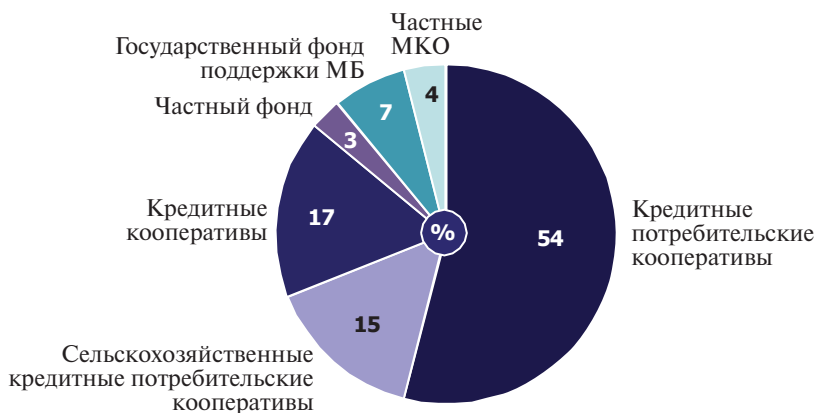


Рис. 1. Структура МКО на 2008 г., %

Источники: [5; 9].

крокредитования в связи с глобальным финансовым кризисом и замедлением экономического роста в стране. Наибольший пик кризиса в микрокредитном секторе пришелся на конец 2008 — начало 2009 г., примерно со II квартала 2009 г. ситуация начала стабилизироваться.

По количеству игроков на рынке микрокредитования лидирующие позиции занимает кредитная кооперация, доля которой ежегодно увеличивается (с 69% в 2003 г. до 86% в 2008 г.). Среди кооперативов преобладают кредитные потребительские кооперативы (54%), кредитные кооперативы (17%), а также сельскохозяйственные кредитные потребительские кооперативы (15%). Структура микрокредитных организаций по данным на 2008 г. представлена на рис. 1.

Основными пользователями микрокредитных услуг в структуре клиентской базы российских микрокредитных организаций в 2003 г. были индивидуальные предприниматели, но к 2008 г. ситуация изменилась, и таковыми стали физические лица (см. рис. 2). Аналогичная ситуация наблюдалась и в банковском секторе: активные операции кредитных организаций в 2008 г. характеризовались прежде всего ростом кредитов нефинансовым организациям и физическим лицам (хотя темпы роста кредитования нефинансовых организаций и населения значительно ниже, чем в 2007 г.).

Изменения в структуре клиентов микрокредитных организаций в целом следуют общим закономерностям финансового рынка. Воз-



Рис. 2. Структура клиентской базы, % от числа опрошенных

Источник: [5; 9].

растающая активность банков в области финансирования малого и среднего бизнеса вызывает определенный отток клиентов микрокредитных организаций. В основном это касается наиболее крупных представителей бизнеса, которые не попадают в профильную группу «микропредприятий» и до этого обслуживались микрокредитными организациями вынужденно, в силу недостаточного банковского предложения. Эту тенденцию можно охарактеризовать как позитивную и ведущую к большему совпадению заявленной миссии микрокредитования как поддержки начинающих и наиболее мелких предпринимателей и фактической клиентской базы микрокредитных организаций.

Структура клиентской базы во многом определяется типом организации, предоставляющей микрокредитные услуги. Это объясняется законодательными ограничениями, накладываемыми на определенные организационно-правовые формы, и целевыми установками самих микрокредитных организаций, выбранной ими специализацией, используемыми источниками финансирования, а также территориальным расположением.

За последние семь лет по всем типам микрокредитных организаций значительно изменилась структура портфеля займов. Доля займов на предпринимательские цели снижалась с каждым годом и к 2008 г. составила только 28% (в 2003 г. — 62%). А доля займов на потребительские цели, напротив, увеличилась с 30% в 2003 г. до 61% в 2008 г. [9]. Что касается совокупного спроса на займы, то в 2009 г. он снизился из-за падения предпринимательской активности и снижения потребительского спроса, так как население в кризисный период перешло

от потребления к накоплениям. В связи с этим наблюдается снижение портфеля займов у микрокредитных организаций.

Несмотря на замедление развития микрокредитного сектора под влиянием финансового кризиса, ожидается, что в условиях посткризисного роста сектор микрокредитования может сыграть ключевую роль, особенно в регионах, где нехватка банковской инфраструктуры наиболее заметна. Более того, предполагается, что с оживлением деловой активности портфель займов и количество заемщиков микрокредитных организаций будут расти более быстрыми темпами, чем в банковском секторе.

Сектор микрокредитования в рамках СНС ООН — 1993

В целях описания натурально-вещественных потоков в экономической системе (СНС ООН — 1993) институциональные единицы группируются в следующие сектора: нефинансовые корпорации; финансовые корпорации; государственные учреждения; домашние хозяйства; некоммерческие организации, обслуживающие домашние хозяйства; остальной мир.

Сектор финансовых корпораций включает резидентные финансовые корпорации и квазикорпорации, занятые финансовым посредничеством и другими связанными с ним финансовыми услугами на коммерческой основе. Это банки и страховые учреждения, пенсионные фонды, фондовые биржи, брокеры, дилеры, инвестиционные компании, инвестиционные фонды, трастовые компании, депозитарии и т.п. Их ресурсы формируются за счет принятых обязательств и полученных процентов, страховых премий и комиссионных. К сектору финансовых корпораций относятся также некоммерческие организации, создаваемые и финансируемые финансовыми учреждениями.

Финансовый сектор, или сектор финансовых корпораций, включает пять подсекторов:

- 1) центральный банк;
- 2) депозитные денежные корпорации;
- 3) финансовые вспомогательные корпорации;
- 4) страховые корпорации и пенсионные фонды;
- 5) другие финансовые посредники кроме страховых корпораций и пенсионных фондов (инвестиционные фонды) [7].

Рассмотрим некоторые подсектора сектора финансовых учреждений более детально.

Подсектор «депозитные денежные корпорации» включает все финансовые корпорации (кроме центрального банка) и квазикорпорации-резиденты, основным видом деятельности которых является финансовое посредничество и которые эмитируют долговые обязательства, включающиеся в национальное определение широкой денежной массы. В мировой практике в подсектор «депозитные денежные корпорации» чаще всего входят: коммерческие банки; инвестиционные банки; сберегательные банки; ипотечные банки; сельские и сельскохозяйственные банки; ссудосберегательные ассоциации; строительные общества; кредитные союзы и кооперативы; компании по выпуску дорожных чеков, занимающиеся деятельностью, свойственной финансовым корпорациям.

В подсектор других финансовых посредников могут входить следующие институциональные единицы: финансовые компании; финансовые лизинговые компании; инвестиционные пулы; андеррайтеры ценных бумаг и дилеры; компании специального назначения или компании-носители; посредники, специализирующиеся на операциях с производными финансовыми инструментами; специализированные финансовые посредники.

В рамках СНС ООН — 1993 сектор микрокредитования относится к сектору финансовых корпораций, поскольку целью деятельности МКО является содействие трансферу средств от кредиторов заемщикам, т.е. финансовое посредничество.

Но следует отметить, что институциональные единицы сектора МКО могут относиться к разным подсекторам сектора финансовых корпораций. Так, например, единицы сектора МКО относятся к подсекторам «депозитные денежные корпорации» и «другие финансовые посредники». Подсектор «депозитные денежные корпорации» включает такие единицы сектора МКО, как сельские и сельскохозяйственные банки, кредитные союзы и кооперативы, а подсектор «другие финансовые посредники» — такие как финансовые компании, основным видом деятельности которых является предоставление кредитов нефинансовым корпорациям и домашним хозяйствам.

Переход на новую систему международного учета СНС ООН — 2008

В последние годы наблюдается существенное ускорение международной организации производства, которое обусловлено достиг-

нутым прогрессом в совершенствовании (и удешевлении) коммуникационных и транспортных технологий, либерализацией торговли, увеличением потоков капитала и появлением экономик, способных обеспечивать надежную производственную инфраструктуру при низких затратах. Все вышеперечисленные факты, а также возникновение необходимости в составлении более высокочастотной экономической статистики и устранении пробелов в данных по некоторым сегментам финансового сектора стали основополагающими для разработки новой системы национальных счетов (СНС ООН — 2008), точнее модернизации уже существующей системы национальных счетов 1993 г.

При подготовке новой СНС приняты во внимание особенности экономики и статистики стран переходного периода, тех, которые встали на пути экономических реформ с целью трансформации административной экономики в рыночную. СНС 2008 г. вносит большую ясность в вопрос различия между юридической и экономической собственностью на активы, обусловленные тем, что разные единицы несут сопутствующий риск. Кроме того, изменения, внесенные в 2008 г. в СНС 1993 г., отвечают задачам преодоления финансового кризиса, поскольку они учитывают опыт проблем измерения, вызванных финансовыми кризисами 1990-х и начала 2000-х гг. Расширенный охват СНС 2008 г. позволяет проводить измерение и классификацию текущих интервенций правительства и центрального банка и последних нововведений в области финансовых инструментов и финансовых институциональных секторов.

Важные изменения в СНС 2008 г. касаются отражения деятельности финансовых учреждений (центральных банков, финансовых посредников, страховых организаций, пенсионных фондов), государственного сектора (охватывающего как единицы сектора государственного управления, так и государственные корпорации и квазикорпорации), взаимосвязей с остальным миром, а также изменения положений, затрагивающих объемы, структуру и динамику ВВП.

Сектор микрокредитования в рамках СНС ООН — 2008

В новой системе национальных счетов 2008 г., так же как и в СНС 1993 г., выделены пять основных секторов экономики: нефинансовые корпорации, финансовые корпорации, государственные учреждения

(включая фонды социального страхования), домашние хозяйства и некоммерческие организации, обслуживающие домашние хозяйства.

В рамках новой системы национальных счетов сектор финансовых корпораций включает все резидентские корпорации, которые главным образом заняты предоставлением финансовых услуг (включая услуги страхования и пенсионных фондов) другим институциональным единицам. СНС ООН — 2008 предполагает разделение финансовых корпораций на три больших класса: финансовые посредники, финансовые вспомогательные единицы, финансовые корпорации. Финансовые посредники представляют собой институциональные единицы, которые принимают обязательства от своего имени с целью приобретения финансовых активов путем осуществления финансовых операций на рынке. Финансовые вспомогательные единицы — это финансовые корпорации, которые в основном заняты деятельностью по осуществлению операций с финансовыми активами и обязательствами или предоставлению правового обеспечения этих операций, но при условии, что финансовая вспомогательная единица не приобретает собственность на финансовые активы и обязательства, которые являются предметом операций. Другие финансовые корпорации являются институциональными единицами, предоставляющими финансовые услуги, большая часть активов и обязательств которых не обращается на открытых финансовых рынках.

Сектор финансовых корпораций в СНС ООН — 2008 разделен на девять подсекторов в соответствии с видом деятельности корпорации на рынке и ликвидностью их обязательств:

- 1) центральный банк;
- 2) корпорации, принимающие депозиты, за исключением центрального банка;
- 3) фонды денежного рынка (ФДР);
- 4) инвестиционные фонды неденежного рынка (НДР);
- 5) другие финансовые посредники, кроме страховых корпораций и пенсионных фондов;
- 6) финансовые вспомогательные единицы;
- 7) каaptive финансовые учреждения и кредиторы;
- 8) страховые корпорации;
- 9) пенсионный фонд [8].

Следует заметить, что деление сектора финансовых корпораций на подсектора в рамках СНС ООН — 2008 существенно отличается от принятого деления — в СНС ООН — 1993.

В рамках СНС ООН — 2008 сектор микрокредитования относится к сектору финансовых корпораций, аналогично прежней системе национальных счетов. Однако новое деление на подсектора в рамках СНС ООН — 2008 обуславливает необходимость определить, куда относятся институциональные единицы сектора микрокредитных организаций в соответствии с новой классификацией.

Детальное изучение всех подсекторов сектора финансовых корпораций (в соответствии с СНС ООН — 2008) показывает, что институциональные единицы сектора МКО могут относиться к разным подсекторам первого.

Единицы сектора микрокредитования относятся к следующим подсекторам:

- «корпорации, принимающие депозиты, за исключением центрального банка» (подсектор включает: коммерческие банки, «универсальные» банки, банки «на все цели», сельские и сельскохозяйственные банки, кредитные кооперативы, кредитные союзы и др.);
- «другие финансовые посредники, кроме страховых корпораций и пенсионных фондов» (подсектор включает финансовые корпорации, занимающиеся финансированием сотрудников предприятий розничной торговли, и др.);
- «каптивные финансовые учреждения и кредиторы» (подсектор включает учреждения, которые предоставляют финансовые услуги (студенческие кредиты, кредиты на импорт/экспорт) исключительно за счет собственных средств или средств, предоставленных спонсором).

Проведенный анализ показал, что изменения в международном учете повлекли за собой изменения в определении границ сектора микрокредитования в рамках международного учета. Так, в соответствии с СНС ООН — 1993 институциональные единицы сектора микрокредитования относились к двум подсекторам сектора финансовых корпораций: «другие депозитные денежные корпорации» и «другие финансовые посредники». В рамках СНС ООН — 2008 микрокредитные организации, так же как и в СНС ООН — 1993, относятся к сектору финансовых корпораций, но уже к другим подсекторам. Следует отметить, что деление сектора финансовых корпораций на подсектора в новой версии учетной системы существенно изменилось: в СНС 1993 г. было пять подсекторов, а в СНС 2008 г. стало девять. Таким образом, институциональные единицы сектора микрокредитования в рамках

СНС ООН — 2008 относится к следующим подсекторам: «корпорации, принимающие депозиты, за исключением центрального банка»; «другие финансовые посредники, кроме страховых корпораций и пенсионных фондов»; «каптивные финансовые учреждения и кредиторы».

Источники

1. *Братанова Л.* Воздействие глобализации на национальные счета // Информационный бюллетень Межсекретариатской рабочей группы по национальным счетам (МСРГНС) «СНС: новости». Дек. 2008. Вып. 27.
2. Дополнения и поправки к Системе Национальных Счетов 1993 года. Нью-Йорк, 2006.
3. Концепция повышения доступности розничных финансовых услуг. Меры по развитию микрофинансирования в Российской Федерации 2008–2012. М.: НАУМИР, 2008.
4. *Образцова О.И., Копейкина О.В.* Система национальных счетов. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2008.
5. Тенденции развития российского сектора микрофинансирования — 2008–2009 // РМЦ. РЦМП. Май 2010.
6. *Чимадия М.* Экономический и финансовый кризис — как решались возникшие проблемы в области национальных счетов? // Информационный бюллетень Межсекретариатской рабочей группы по национальным счетам (МСРГНС) «СНС: новости». Ноябрь. 2009. Вып. 29.
7. System of National Accounts 1993. N.Y., 1993.
8. System of National Accounts 2008. N.Y., 2009.
9. Сайт Российского микрофинансового центра. URL: <http://www.rmcenter.ru>

Н.Р. Макуев
Научный
руководитель —
А.С. Шведов
Кафедра
математической
экономики
и эконометрики

Сравнение метода конечных разностей и метода конечных элементов, применяемых при оценке опционов, на примере двумерного линейного параболического уравнения

В данной работе сравнивается вычислительная точность двух методов численного решения дифференциальных уравнений, возникающих в задачах оценки опционов, — метода конечных разностей на основе схемы с полусуммой и одного из вариантов метода конечных элементов с аппроксимацией по Галеркину. Вычисления производятся для линейного неоднородного уравнения параболического типа, приводится детальное описание построения приближенного решения и программные коды для Wolfram Mathematica 7.0.

Введение

Задача расчета безарбитражных цен опционов и других контингентных требований, или, более коротко, задача оценки опционов занимает заметное место в экономической науке и является очень важной в практическом отношении. Сделки, последствия которых зависят от внешних факторов, давно используются для страхования рисков и имеют существенное значение для устойчивого экономического роста. Вместе с тем при чрезмерном увеличении рынков подобных сделок и их недостаточном регулировании возрастают возможности для появления спекулятивных пузырей, что является одной из причин кризисов. Однако попытки ввести ограничения в какой-либо стране вызы-

вают немедленный отток портфельного капитала в другие страны, где участникам рынка предоставляется большая свобода.

Для решения задач, связанных с оценкой опционов, применяются разнообразные методы (см., например, [2]). Один из наиболее эффективных подходов к этой проблеме — численное решение краевой задачи для уравнения в частных производных, описывающего безарбитражную цену финансового инструмента. Подобный подход излагается, например, в работе [3].

В случае зависимости цены инструмента лишь от одного параметра — цены базового актива — безарбитражная цена может быть определена путем решения дифференциального уравнения

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial S^2} + rS \frac{\partial \varphi}{\partial S} - r\varphi = 0,$$

где φ — безарбитражная цена финансового инструмента;

S и σ — цена и волатильность цены базового актива соответственно;

r — безрисковая процентная ставка;

t — время.

Краевые задачи для приведенного уравнения, соответствующие, в частности, европейским опционам колл и пут, рассмотрены в работах [4] и [7]. Решения данных наиболее известных задач могут быть выражены аналитически, однако при переходе к более сложным моделям основным путем решения становится применение численных методов. В таких моделях цена финансового инструмента определяется большим количеством факторов, и вид уравнения будет отличным от приведенного выше, однако его тип останется параболическим, — это означает, что уравнение для цены инструмента может быть сведено к многомерному уравнению вида:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = F \left(x_1, x_2, \dots, \frac{\partial \varphi}{\partial x_1}, \frac{\partial \varphi}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_1^2}, \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_2^2}, \dots, t \right),$$

где x_1, x_2, \dots — переменные, от которых зависит цена дериватива;

t — время.

Хорошо известным способом численного решения подобных уравнений в частных производных является метод конечных разностей [3; 6; 9]. Метод конечных элементов, также применимый к этой задаче [10; 12], несколько менее популярен. Сравнение метода конечных разностей и метода конечных элементов для различных задач, в частности, задач

математической физики, — традиционное направление исследований (см., например, [8; 11]). В данной работе подобное сравнение проводится для линейного параболического уравнения с двумя пространственными переменными. Для расчетов выбрана следующая краевая задача:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} &= a \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right) + f(x, y, t), \\ x &\in [0, X], \quad y \in [0, Y], \quad t \in [0, T], \\ \varphi(x, y, 0) &= \varphi_0(x, y), \\ \varphi(0, y, t) &= \varphi_1(y, t), \quad \varphi(x, 0, t) = \varphi_2(x, t), \\ \varphi(X, y, t) &= \varphi_3(y, t), \quad \varphi(x, Y, t) = \varphi_4(x, t). \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, задача рассматривается в прямоугольном параллелепипеде $[0, X] \times [0, Y] \times [0, T]$. Краевая задача (1) является упрощенным вариантом краевых задач, которые используются при оценке реальных финансовых инструментов в многомерных постановках. Сравнение метода конечных разностей и метода конечных элементов для простой краевой задачи наподобие (1) необходимо при переходе к более сложным реальным задачам. В данной работе дается краткое описание метода конечных разностей и метода конечных элементов и сравнивается их точность для краевой задачи (1).

1. Метод конечных разностей

В достаточно общей форме двумерное параболическое уравнение можно представить как

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = F \left(x, y, \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, t \right).$$

Рассмотрим область $[0, X] \times [0, Y] \times [0, T]$ и построим на ней прямоугольную сетку с шагом h по координатам x и y и шагом τ по временной оси. Введем обозначения: $I = \frac{X}{h}$, $J = \frac{Y}{h}$, $N = \frac{T}{\tau}$.

Идея метода конечных разностей заключается в замене дифференциального уравнения его разностным аналогом. Соответственно вместо искомой функции φ в каждом узле построенной сетки находится ее аппроксимация φ_{ij}^n . Пример визуализации пространственной сетки представлен на рис. 1.

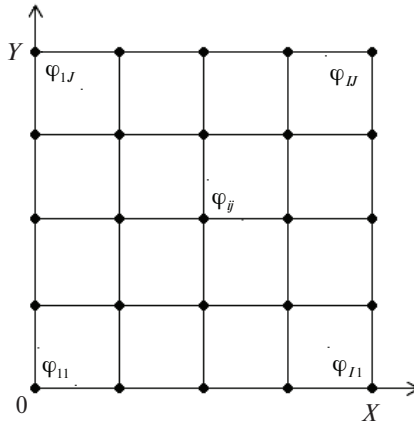


Рис. 1. Сетка в пространственных координатах

Для построения конечно-разностного решения можно использовать различные схемы, например

$$\text{явную } \frac{\varphi_{i,j}^{n+1} - \varphi_{i,j}^n}{\tau} = F_{i,j}^n;$$

$$\text{неявную } \frac{\varphi_{i,j}^{n+1} - \varphi_{i,j}^n}{\tau} = F_{i,j}^{n+1};$$

$$\text{с полусуммой } \frac{\varphi_{i,j}^{n+1} - \varphi_{i,j}^n}{\tau} = \frac{1}{2}(F_{i,j}^{n+1} + F_{i,j}^n).$$

Здесь φ_{ij}^n и $F_{i,j}^n$ — значения используемой аппроксимации решения φ и функции F в точках $(ih, jh, n\tau)$, $i = 0, 1, \dots, I$, $j = 0, 1, \dots, J$, $n = 0, 1, \dots, N - 1$. Примеры компактных шаблонов этих разностных схем в соответствующем порядке представлены на рис. 2.

Для применения в дальнейшем анализе мы выберем разностную схему с полусуммой вследствие ее высокой точности и абсолютной устойчивости. Кроме того, эта разностная схема является одной из наиболее часто используемых. В случае уравнения из краевой задачи (1) данная разностная схема принимает вид:

$$\begin{aligned} \varphi_{i,j}^{n+1} - \varphi_{i,j}^n = & \frac{1}{2} \frac{\alpha \tau}{h^2} \left[\left(\varphi_{i+1,j}^{n+1} + \varphi_{i-1,j}^{n+1} + \varphi_{i,j+1}^{n+1} + \varphi_{i,j-1}^{n+1} - 4\varphi_{i,j}^{n+1} \right) + \right. \\ & \left. + \left(\varphi_{i+1,j}^n + \varphi_{i-1,j}^n + \varphi_{i,j+1}^n + \varphi_{i,j-1}^n - 4\varphi_{i,j}^n \right) \right] + \\ & + \frac{1}{2} \tau [f(ih, jh, (n+1)k) + f(ih, jh, nk)]. \end{aligned}$$

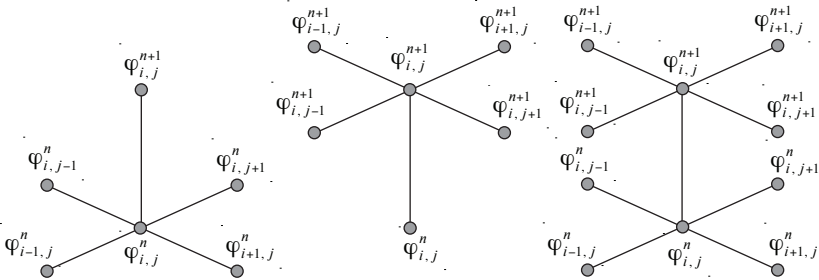


Рис. 2. Шаблоны разностных схем в случае двух пространственных координат

Эта схема является двухслойной, т.е. значения аппроксимации функции φ , соответствующие слою $n + 1$, вычисляются только через ее значения в слое n . В совокупности с граничными условиями данные уравнения составляют линейную систему, решая которую, можно найти все φ_{ij}^n . Таким образом, задав значения аппроксимации в первом слое начальным условием, мы можем найти приближенное решение для любого момента времени $nt \leq T$. При фиксированном значении a точность метода при условии его сходимости будет зависеть от шагов разбиения по пространственным и временным координатам.

2. Метод конечных элементов

Подход, использованный в данной работе, описан в книге [1]. При численном решении краевой задачи (1) методом конечных элементов может быть использована аппроксимация:

$$\hat{\varphi}(x, y, t) = \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \varphi_{ij}(t) N_{ij}(x, y), \quad (2)$$

где $N_{ij}(x, y)$ — зависящая только от пространственных координат базисная функция узла $x = ih$, $y = jh$, а $\varphi_{ij}(t)$ — зависящая от времени аппроксимация функции φ в этой точке. Здесь используются такое же разбиение исследуемой области, что и в предыдущем разделе. Тогда базисные функции могут быть представлены в виде:

$$N_{ij}(x, y) = 0, \text{ при } |x - ih| \geq h \text{ или } |y - jh| \geq h;$$

$$N_{ij}(x, y) = \frac{1}{h^2} (x - h(i-1))(y - h(j-1)),$$

при $(i-1)h \leq x \leq ih$, $(j-1)h \leq y \leq jh$;

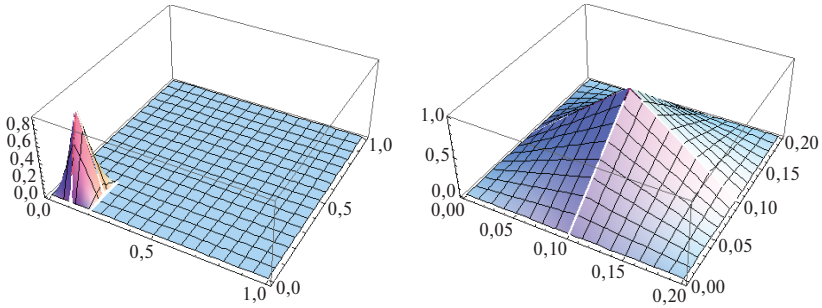


Рис. 3. Одна из используемых базисных функций

$$\begin{aligned}
 N_{ij}(x,y) &= \frac{1}{h^2}(h(j+1)-x)(y-h(j-1)), \\
 &\quad \text{при } ih \leq x \leq (i+1)h, \quad (j-1)h \leq y \leq jh; \\
 N_{ij}(x,y) &= \frac{1}{h^2}(x-h(i-1))(h(j+1)-y), \\
 &\quad \text{при } (i-1)h \leq x \leq ih, \quad jh \leq y \leq (j+1)h; \\
 N_{ij}(x,y) &= \frac{1}{h^2}(h(i+1)-x)(h(j+1)-y), \\
 &\quad \text{при } ih \leq x \leq (i+1)h, \quad jh \leq y \leq (j+1)h.
 \end{aligned} \tag{3}$$

На рис. 3 отображена базисная функция узла $\left(\frac{1}{10}, \frac{1}{10}\right)$ при рассматриваемой области $[0,1] \times [0,1] \times [0,T]$ и $h = 10$.

Данный вид базисных функций выбран для того, чтобы они удовлетворяли условиям:

$$\begin{aligned}
 N_{ij}(ih, jh) &= 1, \quad i = 0, 1, \dots, I, \quad j = 0, 1, \dots, J, \\
 \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J N_{ij} &= 1, \quad x \in [0, X], \quad y \in [0, Y].
 \end{aligned}$$

Далее, применение метода взвешенных невязок с весовыми функциями $N_{ij}(x,y)$ к краевой задаче (1) приводит к уравнениям вида:

$$\begin{aligned}
 \iint_{0^X 0^Y} \left(\frac{\partial \hat{\phi}}{\partial t} - a \left(\frac{\partial^2 \hat{\phi}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \hat{\phi}}{\partial y^2} \right) - f(x,y,t) \right) N_{ij}(x,y) dx dy = 0, \\
 i = 0, 1, \dots, I, \quad j = 0, 1, \dots, J.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Подставив в данные уравнения аппроксимацию (2), мы можем получить систему обыкновенных дифференциальных уравнений относительно $\Phi_{ij}(t)$. Однако, поскольку в уравнении присутствуют производные второго порядка, базисные функции (3) оказываются неприменимы к уравнениям (4), так как они не имеют второй производной в центрах соответствующих элементов. Выходом в данном случае является переход к слабой форме уравнений, позволяющей использовать линейные базисные функции (данные уравнения получаются из уравнений (4) интегрированием по частям):

$$\begin{aligned} \int_0^X \int_0^Y \left(\frac{\partial \hat{\phi}}{\partial t} N_{ij} + a \left(\frac{\partial N_{ij}}{\partial x} \frac{\partial \hat{\phi}}{\partial x} + \frac{\partial N_{ij}}{\partial y} \frac{\partial \hat{\phi}}{\partial y} \right) - f(x, y, t) N_{ij} \right) dx dy = \\ = \int_0^X \left[N_{ij} \frac{\partial \hat{\phi}}{\partial y} \right]_{y=0}^Y dx + \int_0^Y \left[N_{ij} \frac{\partial \hat{\phi}}{\partial x} \right]_{x=0}^X dy, \\ i = 0, 1, \dots, I, \quad j = 0, 1, \dots, J. \end{aligned} \quad (5)$$

После подстановки аппроксимации (2) в уравнения (5) получаем:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \Phi_{ij}(t) \int_0^X \int_0^Y a \left(\frac{\partial N_{ij}}{\partial x} \frac{\partial N_{lm}}{\partial x} + \frac{\partial N_{ij}}{\partial y} \frac{\partial N_{lm}}{\partial y} \right) dx dy + \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \frac{d\Phi_{ij}(t)}{dt} \int_0^X \int_0^Y N_{ij} N_{lm} dx dy = \\ = \int_0^X \int_0^Y f(x, y, t) N_{ij} dx dy + \int_0^X \left[N_{ij} \frac{\partial \hat{\phi}}{\partial y} \right]_{y=0}^Y dx + \int_0^Y \left[N_{ij} \frac{\partial \hat{\phi}}{\partial x} \right]_{x=0}^X dy, \\ l = 0, 1, \dots, I, \quad m = 0, 1, \dots, J. \end{aligned} \quad (6)$$

Заметим, что функции под интегралами в левой части уравнения (6) являются квадратичными функциями с непрерывной на элементе второй производной. Например, типичный вид функции $N_{ij} N_{lm}$ демонстрирует рис. 4. Таким образом, переход к слабой форме уравнений взвешенных невязок обеспечил нам возможность использования линейных базисных функций.

Итак, мы получили систему обыкновенных дифференциальных уравнений относительно t :

$$\mathbf{C} \frac{d\Phi}{dt} + \mathbf{K}\Phi = \mathbf{F}(t), \quad (7)$$

где \mathbf{C} и \mathbf{K} — матрицы размера $(I+1)(J+1) \times (I+1)(J+1)$, элементы которых имеют вид:

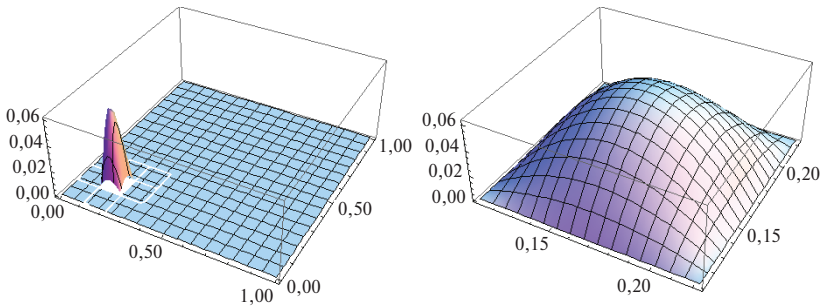


Рис. 4. Произведение базисных функций узлов $\left(\frac{1}{10}, \frac{1}{10}\right)$ и $\left(\frac{2}{10}, \frac{2}{10}\right)$ при рассматриваемой области $[0,1] \times [0,1] \times [0,T]$ и $h = 10$

$$C_{ijlm} = \iint_{0^0}^{XY} N_{ij} N_{lm} dx dy, \quad (8)$$

$$K_{ijlm} = \iint_{0^0}^{XY} a \left(\frac{\partial N_{ij}}{\partial x} \frac{\partial N_{lm}}{\partial x} + \frac{\partial N_{ij}}{\partial y} \frac{\partial N_{lm}}{\partial y} \right) dx dy, \quad (9)$$

а φ и $\mathbf{F}(t)$ — векторы размера $(I+1)(J+1)$ с элементами вида:

$$\varphi_{ij}(t),$$

$$f_{ij}(t) = \iint_{0^0}^{XY} f(x, y, t) N_{ij} dx dy + \int_0^X \left[N_{ij} \frac{\partial \hat{\varphi}}{\partial y} \right]_{y=0}^Y dx + \int_0^X \left[N_{ij} \frac{\partial \hat{\varphi}}{\partial x} \right]_{x=0}^Y dy. \quad (10)$$

Заметим, что слагаемые

$$\int_0^X \left[N_{ij} \frac{\partial \hat{\varphi}}{\partial y} \right]_{y=0}^Y dx + \int_0^X \left[N_{ij} \frac{\partial \hat{\varphi}}{\partial x} \right]_{x=0}^Y dy \quad (11)$$

не равны нулю только для уравнений, соответствующих узлам на границе исследуемой области; для всех остальных узлов $N_{ij}(x, 0)$, $N_{ij}(x, Y)$, $N_{ij}(0, y)$ и $N_{ij}(X, y)$ равны нулю. В случае краевой задачи (1), имеющей граничные условия первого рода, уравнения, соответствующие узлам на границе, должны быть заменены на равенства:

$$\varphi_{0j}(t) = \varphi(0, jh, t) = \varphi_1(jh, t), \quad \varphi_{i0}(t) = \varphi(ih, 0, t) = \varphi_2(ih, t),$$

$$\varphi_{iY}(t) = \varphi(ih, Y, t) = \varphi_4(ih, t), \quad \varphi_{iJ}(t) = \varphi(ih, jh, t) = \varphi_3(jh, t).$$

В случае рассмотрения граничных условий дифференциального типа уравнения со слагаемыми (11) дают нам возможность найти значения $\varphi_{ij}(t)$ на границе.

Далее, введем во временной области линейное разбиение с шагом τ . Тогда, действуя способом, аналогичным рассмотрению пространственной области, мы можем ввести аппроксимацию для вектора φ :

$$\hat{\varphi} = \sum_{n=0}^T \varphi_n M_n(t),$$

где $M_n(t)$ — зависящая от времени базисная функции для узла, соответствующего точке $n\tau$ на временной оси, φ_n — аппроксимация столбца φ в этой точке. Так как для представления изменения каждой компоненты вектора φ используются одни и те же базисные функции, $M_n(t)$ являются скалярными функциями. Выберем их как

$$\begin{aligned} M_n(t) &= 0, \quad \text{при } |t - n\tau| \geq \tau, \\ M_n(t) &= \frac{1}{\tau}(t - (n-1)\tau), \quad \text{при } (n-1)\tau \leq t \leq n\tau, \\ M_n(t) &= \frac{1}{\tau}((n+1)\tau - t), \quad \text{при } n\tau \leq t \leq (n+1)\tau. \end{aligned}$$

Тогда, применяя к системе (7) стандартный метод взвешенных невязок, получаем:

$$\int_0^T \left(C \frac{d\varphi}{dt} + K\varphi - F(t) \right) W_n(t) dt = 0, \quad n = 0, 1, \dots, N, \quad (12)$$

где $W_n(t)$ — весовые функции, которые на этот раз мы не будем выбирать равными базисным функциям. Рассмотрим интервал $t \in (n\tau, (n+1)\tau)$ и произведем на нем замену переменной:

$$\sigma = \frac{1}{\tau}(t - n\tau).$$

Тогда на этом элементе вектор φ может быть представлен как $\varphi = (1 - \sigma)\varphi_n + \sigma\varphi_{n+1}$. Произведем такую же аппроксимацию для столбца $F(t)$: $\hat{F}(t) = (1 - \sigma)F_n + \sigma F_{n+1}$. Если мы также наложим условия на весовые функции $W_n(t) = 0$, при $t < n\tau$ и $t > n\tau$, уравнения (12) могут быть представлены в виде:

$$\int_0^1 \left(\mathbf{C} \frac{\varphi_{n+1} - \varphi_n}{\tau} + \mathbf{K}((1-\sigma)\varphi_n + \sigma\varphi_{n+1}) - (1-\sigma)\mathbf{F}_n - \sigma\mathbf{F}_{n+1} \right) W_n(\sigma) d\sigma = 0, \\ n = 0, 1, \dots, N.$$

А так как матрицы \mathbf{C} и \mathbf{K} постоянны во времени,

$$\left(\frac{\mathbf{C}}{\tau} \int_0^1 W_n(\sigma) d\sigma + \mathbf{K} \int_0^1 \sigma W_n(\sigma) d\sigma \right) \varphi_{n+1} + \\ + \left(\frac{\mathbf{C}}{\tau} \int_0^1 W_n(\sigma) d\sigma + \mathbf{K} \int_0^1 (1-\sigma) W_n(\sigma) d\sigma \right) \varphi_n = \int_0^1 ((1-\sigma)\mathbf{F}_n + \sigma\mathbf{F}_{n+1}) W_n(\sigma) d\sigma, \\ n = 0, 1, \dots, N. \quad (13)$$

Перепишем уравнения (13) в виде

$$\left(\frac{\mathbf{C}}{\tau} + \gamma_n \mathbf{K} \right) \varphi_{n+1} + \left(-\frac{\mathbf{C}}{\tau} + (1-\gamma_n) \mathbf{K} \right) \varphi_n = \gamma_n \mathbf{F}_{n+1} + (1-\gamma_n) \mathbf{F}_n, \\ n = 0, 1, \dots, N, \quad (14)$$

где $\gamma_n = \frac{\int_0^1 \sigma W_n(\sigma) d\sigma}{\int_0^1 W_n(\sigma) d\sigma}$.

Соотношение (14) при подходящем выборе весовых функций $W_n(\sigma)$ может быть использовано для создания двухслойной схемы интегрирования по времени. Так, выбрав $W_n(\sigma) = \delta(\sigma - \frac{1}{2})$, получим $\gamma_n = \frac{1}{2}$ и сформируем разностную схему, позволяющую находить аппроксимацию решения системы (7):

$$\left(\frac{\mathbf{C}}{\tau} + \frac{1}{2} \mathbf{K} \right) \varphi_{n+1} + \left(-\frac{\mathbf{C}}{\tau} + \frac{1}{2} \mathbf{K} \right) \varphi_n = \frac{1}{2} (\mathbf{F}_{n+1} + \mathbf{F}_n).$$

3. Сравнение вычислительной точности методов

В данном разделе приводятся результаты сравнения численных решений краевой задачи (1) методами конечных разностей и конечных элементов. Рассматриваемая задача имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} &= a \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 y} \right) + 8a\pi^2 \text{Cos}(\pi t) \text{Cos}(2\pi x) \text{Cos}(2\pi y) - \\ &\quad - \pi \text{Sin}(\pi t) \text{Cos}(2\pi x) \text{Cos}(2\pi y), \\ x &\in [0,1], \quad y \in [0,1], \quad t \in [0,1], \\ \varphi(x, y, 0) &= \text{Cos}(2\pi x) \text{Cos}(2\pi y), \\ \varphi(0, y, t) &= \text{Cos}(\pi t) \text{Cos}(2\pi y), \quad \varphi(x, 0, t) = \text{Cos}(\pi t) \text{Cos}(2\pi x), \\ \varphi(1, y, t) &= \text{Cos}(\pi t) \text{Cos}(2\pi y), \quad \varphi(x, 1, t) = \text{Cos}(\pi t) \text{Cos}(2\pi x). \end{aligned}$$

Вид функции в правой части выбран так, чтобы существовало аналитическое решение

$$\varphi = \text{Cos}(\pi t) \text{Cos}(2\pi x) \text{Cos}(2\pi y).$$

Выбор данной функции мотивирован тем, что $\varphi = O(1)$ и при этом зависимость от времени имеет нелинейный характер (функция φ не сходится к нулю и является осциллирующей). Вид решения демонстрирует рис. 5.

Оценим среднюю квадратичную ошибку как

$$d^2 = \sum_{n=1}^N \sum_{i,j=0}^{I,J} \frac{|\varphi(ih, jh, n\tau) - \hat{\varphi}_{ij}(n)|^2}{LN},$$

где $L = (I+1)(J+1)$ — число пространственных узлов;

N — число узлов во временной области;

$\varphi(x, y, t)$ и $\hat{\varphi}_{i,j}(n)$ — значения аналитического решения и аппроксимации соответствующего метода в точке $x = ih, y = jh$.

Данные о значении ошибок методов для $a = 1$ при различных значениях числа пространственных узлов L и числа узлов во временной области N приведены в табл. 1.

Таблица 1

L	N	Ошибка МКР	Ошибка МКЭ
100	10	0,0121707	0,0118178
100	20	0,0112565	0,0108364
100	30	0,0110444	0,0106066
100	40	0,0109561	0,0105126
225	10	0,00511876	0,00506228

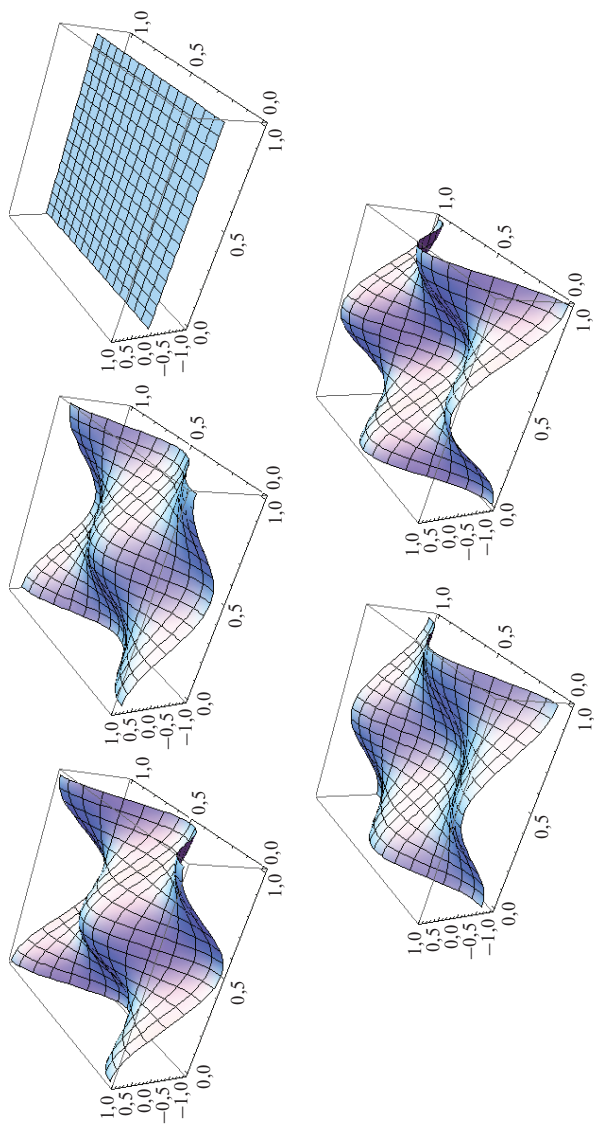


Рис. 5. Вид точного решения краевой задачи (14), $t = 0, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1, 1.3$

L	N	Ошибка МКР	Ошибка МКЭ
225	20	0,00471835	0,00465523
225	30	0,00462558	0,00455973
225	40	0,00458726	0,00452042
400	10	0,00281302	0,00279372
400	20	0,00258882	0,00257246
400	30	0,00253712	0,0025207
400	40	0,00251582	0,00249933
900	10	0,00122823	0,00121928
900	20	0,00112545	0,00112268
900	30	0,00110254	0,00110074

На рис. 6 и 7 приведены графики зависимости ошибки от числа пространственных узлов и числа временных узлов соответственно.

Как можно заметить, ошибка предлагаемого метода конечных элементов при всех рассмотренных параметрах меньше ошибки, получаемой при использовании наиболее популярного варианта метода конечных разностей. Хотя нахождение численного решения методом конечных элементов требует предварительного вычисления интегра-

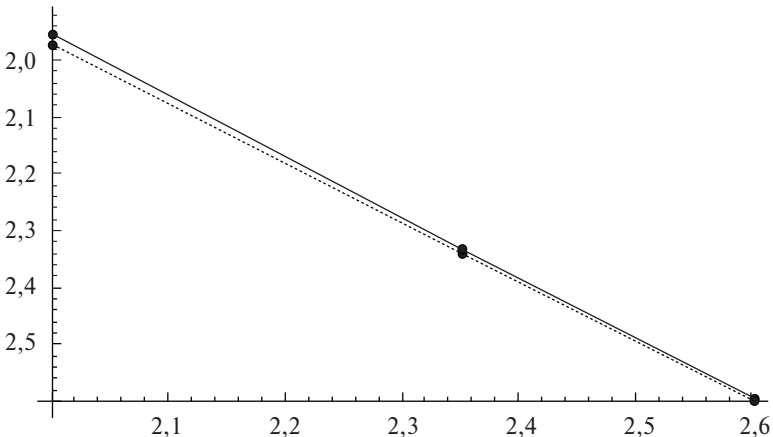


Рис. 6. Зависимость десятичного логарифма средней квадратичной ошибки обоих методов от десятичного логарифма числа пространственных узлов при $N = 30$

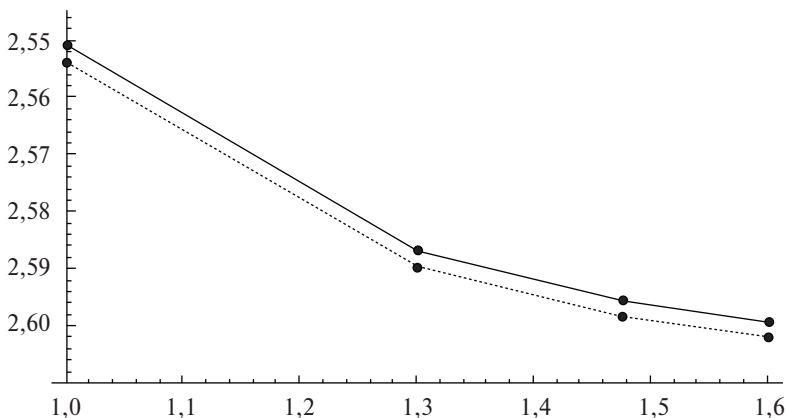


Рис. 7. Зависимость десятичного логарифма средней квадратичной ошибки обоих методов от десятичного логарифма числа временных узлов при $L = 400$

лов (8), (9), (10) и является более ресурсозатратным, бóльшая точность данного метода при растущей производительности современных компьютеров должна сделать его весьма привлекательным для решения задач оценки контингентных требований.

Источники

1. *Зенкевич О., Морган К.* Конечные элементы и аппроксимация / пер. с англ. М.: Мир, 1986.
2. *Шведов А.С.* О математических методах, используемых при работе с опционами // *Экономический журнал ВШЭ.* 1998. № 3. С. 385–409.
3. *Шведов А.С.* Применение метода конечных разностей для оценки производных финансовых инструментов // *Экономический журнал ВШЭ.* 2002. № 2. С. 193–216.
4. *Black F., Scholes M.* The Pricing of Options and Corporate Liabilities // *The Journal of Political Economy.* 1973. Vol. 81. No. 3. P. 637–654.
5. *Crank J., Nicolson P.* A Practical Method for Numerical Evaluation of Solutions of Partial Differential Equations of the Heat Conduction Type // *Proceeding of the Cambridge Philosophical Society.* 1947. Vol. 43. P. 50–67.
6. *Lötstedt P. et al.* Space-Time Adaptive Finite Difference Method for European Multi-Asset Options // *Computers & Mathematics with Applications.* 2007. Vol. 53. No. 8. P. 1159–1180.

7. *Merton R.C.* Theory of Rational Option Pricing // Bell Journal of Economics and Management Science. 1973. Vol. 4. No. 1. P. 141–183.

8. *Simpson M.J., Clement T.P.* Comparison of Finite Difference and Finite Element Solutions to the Variably Saturated Flow Equation // Journal of Hydrology. 2003. Vol. 270. P. 49–64.

9. *Tavella D., Randall C.* Pricing Financial Instruments: The Finite Difference Method. N.Y.: Wiley, 2000.

10. *Topper J.* Finite Element Methods in Bond and Option Pricing // Computing in Economics and Finance. 1999. No. 131.

11. *Walsh J.* Finite-Difference and Finite-Element Methods of Approximation // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. 1971. Vol. 323. P. 155–165.

12. *Walter A., Yanping L., Hongtao Y.* Finite Element Error Estimates for a Non-local Problem in American Option Valuation // SIAM Journal on Numerical Analysis. 2002. Vol. 39. No. 3. P. 834–857.

Приложение

Код Wolfram Mathematica 7.0 для метода конечных разностей:

```
X = 1; T = 1; Nx = 29; Nt = 39; dt = T/Nt; dx = X/Nx; chi = 1;
TableU = Table[U[i, j, n], {i, 0, Nx}, {j, 0, Nx}, {n, 0, Nt}];
InitC = Table[U[i, j, 0] == N[Cos[2 Pi i dx] Cos[2 Pi j dx]], {i, 0, Nx}, {j, 0, Nx}];
BoundC1 = Table[U[0, j, n] == N[Cos[Pi n dt] Cos[2 Pi j dx]], {j, 0, Nx},
{n, 1, Nt}];
BoundC2 = Table[U[Nx, j, n] == N[Cos[Pi n dt] Cos[2 Pi j dx]], {j, 0, Nx},
{n, 1, Nt}];
BoundC3 = Table[U[i, 0, n] == N[Cos[Pi n dt] Cos[2 Pi i dx]],
{i, 1, Nx - 1}, {n, 1, Nt}];
BoundC4 = Table[U[i, Nx, n] == N[Cos[Pi n dt] Cos[2 Pi i dx]], {i, 1, Nx - 1},
{n, 1, Nt}];
Eqn = Table[U[i, j, n + 1] - U[i, j, n] == 1/2 (chi dt/dx^2) (U[i + 1, j, n] +
+ U[i - 1, j, n] + U[i, j + 1, n] + U[i, j - 1, n] - 4 U[i, j, n] + U[i + 1, j, n + 1] +
+ U[i - 1, j, n + 1] + U[i, j + 1, n + 1] + U[i, j - 1, n + 1] - 4 U[i, j, n + 1]) +
+ N[1/2 dt (8 chi Pi^2 (Cos[Pi n dt] + Cos[Pi (n + 1) dt]) Cos[2 Pi i dx]
Cos[2 Pi j dx] - Pi (Sin[Pi n dt] + Sin[Pi (n + 1) dt]) Cos[2 Pi i dx] Cos[2 Pi j dx]),
{i, 1, Nx - 1}, {j, 1, Nx - 1}, {n, 0, Nt - 1}];
sol = Solve[Flatten[{Eqn, InitC, BoundC1, BoundC2, BoundC3, BoundC4}],
Flatten[TableU]];
d = Sqrt[(Sum[(U[i, j, n] - N[Cos[Pi n dt] Cos[2 Pi i dx] Cos[2 Pi j dx]])^2,
{i, 0, Nx}, {j, 0, Nx}, {n, 1, Nt}])]/((Nx + 1)^2 Nt)] /. sol
```

Код Wolfram Mathematica 7.0 для метода конечных элементов:

```

X = 1; T = 1; Nx = 29; Nt = 39; dt = T/Nt; dx = X/Nx; chi = 1;
Nnn[l_, m_, x_, y_] = Piecewise[{{{(x - dx*1 + dx)*(y - dx*m + dx)/dx^2, (1 - 1)
dx < x && x <= 1*dx && (m - 1) dx < y && y <= m*dx},
{(dx*1 - x + dx)*(y - dx*m + dx)/dx^2, 1*dx < x && x < (1 + 1) dx &&
(m - 1) dx < y && y <= m*dx}, {(x - dx*1 + dx)*(dx*m - y + dx)/dx^2,
(1 - 1) dx < x && x <= 1*dx && m*dx < y && y < (m + 1) dx},
{(dx*1 - x + dx)*(dx*m - y + dx)/dx^2, 1*dx < x && x < (1 + 1)
dx && m*dx < y && y < (m + 1) dx}}];
Table[Cc[i, j, l, m] = Piecewise[{{NIntegrate[Nnn[i, j, x, y]*Nnn[l, m, x, y],
{x, 0, 1}, {y, 0, 1}], Abs[i - 1] < 2 && Abs[j - m] < 2}}, {i, 1, Nx - 1}, {j, 1, Nx - 1},
{l, 0, Nx}, {m, 0, Nx}];
Table[Kk[i, j, l, m] = chi Piecewise[{{NIntegrate[Derivative[0, 0, 1, 0][Nnn]
[i, j, x, y]*Derivative[0, 0, 1, 0][Nnn][l, m, x, y] + Derivative[0, 0, 0, 1][Nnn]
[i, j, x, y]*Derivative[0, 0, 0, 1][Nnn][l, m, x, y], {x, 0, 1}, {y, 0, 1}],
Abs[i - 1] < 2 && Abs[j - m] < 2}}, {i, 1, Nx - 1}, {j, 1, Nx - 1}, {l, 0, Nx},
{m, 0, Nx}];
Table[F[i, j, n] = (8 chi Pi^2 Cos[Pi n dt] - Pi Sin[Pi n dt])*NIntegrate
[Nnn[i, j, x, y]* Cos[2 Pi x] Cos[2 Pi y], {x, 0, 1}, {y, 0, 1}, {i, 1, Nx - 1},
{j, 1, Nx - 1}, {n, 0, Nt}];
TableU = Table[U[i, j, n], {i, 0, Nx}, {j, 0, Nx}, {n, 0, Nt}];
InitC = Table[U[i, j, 0] == N[Cos[2 Pi i dx] Cos[2 Pi j dx]], {i, 0, Nx}, {j, 0, Nx}];
BoundC1 = Table[U[0, j, n] == N[Cos[Pi n dt] Cos[2 Pi j dx]], {j, 0, Nx}, {n, 1, Nt}];
BoundC2 = Table[U[Nx, j, n] == N[Cos[Pi n dt] Cos[2 Pi j dx]], {j, 0, Nx},
{n, 1, Nt}];
BoundC3 = Table[U[i, 0, n] == N[Cos[Pi n dt] Cos[2 Pi i dx]], {i, 1, Nx - 1},
{n, 1, Nt}];
BoundC4 = Table[U[i, Nx, n] == N[Cos[Pi n dt] Cos[2 Pi i dx]], {i, 1, Nx - 1},
{n, 1, Nt}];
Eqn = Table[Sum[(1/dt Cc[i, j, l, m] + 1/2 Kk[i, j, l, m]) U[l, m, n + 1] +
+ (-1/dt Cc[i, j, l, m] + 1/2 Kk[i, j, l, m]) U[l, m, n], {l, 0, Nx}, {m, 0, Nx}] =
= 1/2 ( F[i, j, n + 1] + F[i, j, n]), {i, 1, Nx - 1}, {j, 1, Nx - 1}, {n, 0, Nt - 1}];
sol = Solve[Flatten[{Eqn, InitC, BoundC1, BoundC2, BoundC3, BoundC4}],
Flatten[TableU]];
d = Sqrt[(Sum[(U[i, j, n] - N[Cos[Pi n dt] Cos[2 Pi i dx] Cos[2 Pi j dx]])^2,
{i, 0, Nx}, {j, 0, Nx}, {n, 1, Nt}])/((Nx + 1)^2 Nt)] /. sol

```

Т.М. Милицкова

Научный
руководитель —
Н.И. Берзон
Кафедра
фондового рынка
и рынка инвестиций

Детерминанты доходности рублевых корпоративных облигаций при их размещении

Данное исследование посвящено анализу факторов, влияющих на доходность рублевых корпоративных облигаций при их размещении. Рассматриваются все выпуски рублевых корпоративных облигаций, размещенные в период с 2006 по 2010 г. включительно, кроме облигаций, выпущенных банками, страховыми компаниями и прочими финансовыми институтами. На основе этих выпусков строится эконометрическая модель зависимости спредов доходности корпоративных облигаций от характеристик компании-эмитента, от параметров облигационного выпуска и от агрегированных показателей.

Введение

Преобладающее число выпусков рублевых корпоративных облигаций размещается по номиналу. Аукцион проводится по ставке купона, либо ставка купона определяется в результате проведения процедуры букбилдинга. При этом и инвестор, и эмитент заинтересованы в том, чтобы заранее представлять диапазон доходности облигационного выпуска при размещении (или ставки купона при размещении по номиналу). Тогда инвестор сможет определить для себя целесообразность участия в аукционе или подачи заявки при букбилдинге, а эмитент — оценить уровень стоимости займа, на которую он может рассчитывать, выходя на рынок публичных заимствований.

Для того чтобы определить диапазон доходности корпоративной облигации при размещении, необходимо иметь модель, позволяющую спрогнозировать спред доходности и учитывающую экономическую ситуацию в целом, финансовое состояние компании-эмитента и параметры предстоящего облигационного выпуска. Целью данного исследования является построение подобной модели для российского долгового рынка.

Проблема определения факторов, влияющих на доходность облигаций, достаточно хорошо изучена зарубежными экономистами. Первые эмпирические исследования, направленные на выявление факторов доходности корпоративных облигаций и их вклада в объяснение спредов доходности, восходят к основополагающей работе Фишера «Детерминанты рискованной премии по корпоративным облигациям» [4]. Фишер сформулировал и эмпирически доказал гипотезу о том, что средняя премия по корпоративным облигациям зависит от риска невыполнения фирмой своих обязательств и от ликвидности облигации. После Фишера многие исследователи рассматривали ликвидность облигаций как один из факторов их доходности. Ло, Мамайский и Ванг утверждают, что издержки ликвидности в первую очередь влияют на доходность облигаций [9].

Элтон, Грубер, Агравал и Манн попытались разложить спред доходности на отдельные компоненты: возможные потери от дефолта, налоговая премия и недиверсифицируемый систематический риск [3]. Коллин-Дюфресне, Гольдштейн и Мартин показали, что доходности облигаций обусловлены одним общим неопределенным фактором, который объясняет 70% остаточной вариации [1]. Этот вывод можно интерпретировать как доказательство того, что для определения спредов доходности агрегированные факторы более значимы, чем специфические характеристики фирмы. К похожему выводу пришли Накашима и Саито. Исследователи обнаружили, что, помимо финансовых показателей фирмы и срока до погашения займа, спреда доходности корпоративных облигаций также зависят от неких, общих для всех облигационных выпусков, макроэкономических факторов, эффект от которых не учитывается финансовыми показателями фирмы и характеристиками займа. Эти факторы включают скорость обращения корпоративных облигаций (отношение объема торгов корпоративных облигаций к номинальному объему всех находящихся в обращении корпоративных облигаций по месяцам), скорость обращения государственных облигаций (соответствующий показатель для рынка государственных бумаг) и индекс, ежеквартально рассчитываемый Банком Японии как отношение количества фирм, полагающих, что за прошедший период финансовые условия в стране улучшились, к количеству фирм, считающих иначе. Эти факторы оказывают существенное влияние на доходности облигаций и в отдельные промежутки времени могут свести к нулю эффект прочих детерминант [11].

Лу, Чен и Лиאו в результате проведенного исследования доказали, что инвесторы требуют более высокую премию за риск в условиях неопределенности и асимметрии информации [10]. А Лиу и Джираторн обнаружили, что у компаний, в которых генеральный директор имеет большее влияние при принятии решений, ниже кредитные рейтинги и выше спреда доходности облигаций [8]. Исследователи показали, что компании, управляемые более влиятельными менеджерами, имеют менее прозрачную финансовую отчетность, поэтому держатели облигаций требуют более высокую премию за риск вследствие информационной неопределенности.

Однако все вышеупомянутые исследования посвящены рассмотрению доходностей облигаций на вторичном рынке. В гораздо меньшей степени разработана проблема детерминант доходности облигаций при размещении (изучаемая в настоящей работе). Исследователи Габби и Сирони, занимавшиеся этой проблемой, отметили: «Насколько мы знаем, ни одна из работ, рассматривавших факторы доходности облигаций, не проводила эмпирического исследования детерминант доходности облигаций в день размещения» [6]. Однако существует как минимум еще одна работа, посвященная данному вопросу. Это статья Фридсона и Гармана [5].

Габби и Сирони среди прочих переменных рассматривали влияние на доходность таких факторов, как эффективность первичного рынка и технология размещения облигационного выпуска. Фридсон и Гарман построили регрессионную модель зависимости спредов выпускаемых высокодоходных облигаций от следующих факторов: рейтинг, ВВ-В спред (т.е. превышение доходности облигаций с рейтингом В над доходностью облигаций с рейтингом ВВ), принцип старшинства, право обратного выкупа облигации до наступления срока погашения, срок обращения облигации, первый выпуск эмитента, тип андеррайтера и изменение процентных ставок [5].

Необходимо заметить, что все существующие по данной теме исследования рассматривают зарубежные рынки. В этой статье сделана попытка проведения подобного исследования на отечественном рынке.

1. Методология

Объектом настоящего исследования являются рублевые корпоративные облигации, выпущенные в период с 2006 по 2010 г. включительно (всего 485 наблюдений), предметом исследования — их спреды

доходности в день размещения. В модели не рассматриваются облигации, выпущенные банками, страховыми компаниями и другими финансовыми институтами.

В качестве зависимой переменной выступает спред доходности облигации в день ее размещения. Такой выбор объясняется тем, что российский рынок корпоративных облигаций недостаточно ликвиден, чтобы по всем выпускам существовала цена сделки в каждый период. В то же время использование индикативных котировок участников рынка неприемлемо для целей данного исследования, так как индикативная котировка не является ценой сделки и может точно отражать стоимость ценной бумаги. Использование доходности облигаций в день размещения позволяет получить адекватную оценку соотношения спроса и предложения на рынке. В модели рассматривается спред доходности корпоративной облигации в день ее размещения к бескупонной доходности государственной облигации с таким же сроком до погашения в день выпуска корпоративной облигации. Бескупонная доходность рассчитывается ММВБ на основании результатов торгов ОФЗ и публикуется на сайте Банка России. Информация по доходности корпоративных облигаций получена на сайте Информационного агентства Cbonds.

В модель включены три группы объясняющих переменных: условия займа, характеристики эмитента и агрегированные показатели.

1.1. Условия займа

Срок обращения. Одной из самых важных характеристик облигационного займа является срок обращения. Большинство рублевых корпоративных облигаций выпускаются с офертой, т.е. со встроенным опционом пут. Инвесторы могут потребовать погашения в день оферты по фиксированной цене (чаще всего 100% от номинала), и это гипотетически должно снижать требуемую доходность. Однако особенностью российского долгового рынка является то, что после оферты купон может быть изменен, причем по усмотрению эмитента. В результате опцион пут для инвестора «превращается» в опцион колл для эмитента, поскольку если компания захочет погасить облигации в день оферты, она может объявить для всех последующих процентных выплат купон, в несколько раз меньший, чем был определен до оферты. В таком случае все инвесторы реализуют свое право на продажу облигации эмитенту.

Таким образом, облигация со встроенным опционом может быть погашена в день оферты как по желанию инвестора, так и по желанию эмитента. Поэтому инвестор рассматривает трехлетнюю облигацию с полуторагодовой офертой скорее как просто полуторагодовую облигацию. Соответственно для отображения продолжительности жизни облигации в модель включен срок до оферты в годах, если есть оферта, и срок обращения в годах — в иных случаях.

Предполагается, что чем больше продолжительность жизни облигации, тем выше должна быть доходность. Однако спред при этом может сужаться. Дело в том, что с ростом срока обращения доходность по государственным ценным бумагам растет быстрее, чем доходность корпоративных облигаций. Поэтому для исследования выдвигается гипотеза об обратной зависимости спреда доходности от срока до погашения (до оферты).

Объем эмиссии. Объем эмиссии может выступать показателем ожидаемой будущей ликвидности облигаций данного выпуска. Этот фактор имеет большое значение для инвесторов, если только они не собираются держать облигацию до момента погашения. Кроме того, объем эмиссии косвенно отражает масштаб бизнеса эмитента. В процессе проведения исследования будет протестировано следующее предположение: чем больше объем эмиссии, тем спред доходности ниже.

Первый выпуск эмитента. Инвесторы требуют более высокую премию за риск для облигаций, выпущенных компаниями, которые раньше не выходили на рынок публичных заимствований, поскольку в таких случаях оценить кредитоспособность эмитента сложнее. Напротив, в случае выпуска облигаций эмитентом, неоднократно выпускавшим облигации, инвесторам легко проверить его кредитную историю и то, насколько обещанные выплаты совпадали по срокам и величине с действительными.

В модели компания будет обозначена как «новичок», если в течение пяти лет до размещения облигаций она не выходила на рынок публичных заимствований. Таким выпуском будет присвоено значение *dummy*-переменной, равное единице. Предположение заключается в том, что для «первых» выпусков доходность будет выше.

Периодичность купонных выплат. Купонные платежи по большинству российских корпоративных облигаций совершаются каждые полгода. Реже эмитенты выплачивают купон 1 или 4 раза в год. В данном исследовании делается предположение о склонности инвесторов к

более ровному, стабильному потоку процентных доходов. Поэтому гипотеза заключается в наличии обратной зависимости между спредом доходности и частотой купонных выплат.

Тип организатора. Организаторами корпоративных облигационных займов в РФ выступают банки и инвестиционные компании. Условно всех организаторов можно разделить на «организаторов первого эшелона», размещающих самые крупные выпуски и проводящих размещения более часто, и «организаторов второго эшелона». От типа организатора спред доходности зависит по двум причинам. Во-первых, «организаторы первого эшелона» обладают большим опытом организации размещений, поэтому они способны хорошо подготовить размещение облигаций, что приводит к меньшему спреду. Во-вторых, тип организатора — это определенный сигнал о качестве компании-эмитента, потому что «организаторы первого эшелона» берутся сопровождать размещение займов только крупных, финансово устойчивых и надежных компаний. Соответственно выдвигается гипотеза: если выпуск организован «организатором первого эшелона», то спред доходности должен быть ниже.

Чтобы разделить организаторов по эшелонам, был составлен их рейтинг по объемам размещенных ими облигационных корпоративных выпусков в течение 2006–2010 гг. В результате сложения этих показателей за пять лет для каждого организатора был получен рейтинг первых десяти организаторов (табл. 1).

Таблица 1. Первые десять организаторов по объему размещенных облигационных корпоративных займов в 2006–2010 гг.

Организатор	Объем размещенных облигационных займов за 2006–2010 гг., млрд руб.
ВТБ	630 120
Газпромбанк	380 167
ИК «Тройка Диалог»	311 587
Райффайзенбанк	227 658
ТрансКредитБанк	159 546
Сбербанк	149 401
Ренессанс Капитал	120 229
ФК «УРАЛСИБ»	107 217
Банк Москвы	104 984
Росбанк	93 169

Источник данных: www.cbonds.ru; расчеты автора.

Все они были отнесены к «организаторам первого эшелона». Если выпуск был организован одним из организаторов, вошедших в этот рейтинг, переменной «тип организатора» присваивалось значение 1, если организатором, не вошедшим в этот рейтинг, — 0.

Формат размещения. По формату размещения российские корпоративные облигации можно разделить на облигации, размещаемые путем голландского аукциона по купону, голландского аукциона по цене и букбилдинга. Размещение путем голландского аукциона по цене никогда не было популярным на российском рынке корпоративных облигаций. Практически единственным способом размещения корпоративных облигаций до 2009 г. был голландский аукцион по купону.

В феврале 2008 г. произошло первое размещение (ТГК-10, 5 млрд руб., 9,75%) корпоративных облигаций путем букбилдинга. Уже в 2008 г. доля облигаций, размещенных путем букбилдинга, составила 13%, а в 2010 г. эта доля выросла до 77%, маркировав переход рынка корпоративных облигаций на новый формат размещений.

Так как при проведении процедуры букбилдинга происходит более эффективная аллокация бумаг, обеспечивающая оптимальный баланс между интересами инвесторов и эмитентов и создающая ликвидный вторичный рынок, в данном исследовании делается предположение о более низком спреде доходности для облигаций, размещенных путем букбилдинга.

Биржевые облигации. 2008 г. стал «инновационным» для российского рынка корпоративных облигаций не только вследствие начала размещения облигаций путем букбилдинга, но и в связи с началом выпуска биржевых облигаций: в марте 2008 г. были размещены биржевые облигации АвтоВАЗа и РБК «Информационные системы».

Этот тип облигаций завоевывает все больше популярности среди эмитентов корпоративных облигаций: если за 2008 г. выпуски биржевых облигации осуществили три эмитента, то в 2010 г. к такому инструменту заимствования прибегли уже более пятидесяти эмитентов, а доля биржевых облигаций среди всех выпущенных корпоративных облигаций поднялась с 3 до 40% соответственно.

Поскольку данный инструмент могут выпускать только компании, бумаги которых уже котируются на бирже (а следовательно, предоставляющие больше информации о своей деятельности, чем остальные эмитенты), то выдвигается гипотеза о более низких доходностях биржевых облигаций.

1.2. Характеристики эмитента

Кредитное качество эмитента. Несмотря на то что рейтинги в целом учитывают кредитное качество эмитента, в модель включен не рейтинг компании, а отдельно некоторые показатели, характеризующие состояние компании непосредственно перед размещением облигаций. Дело в том, что российские компании могут выходить на рынок публичных заимствований без получения кредитного рейтинга, поэтому среди эмитентов российских корпоративных облигаций много компаний, которым рейтинг не присвоен. Кроме того, существует большая разница между рейтингами, присваиваемыми иностранными рейтинговыми агентствами и отечественными.

В качестве объясняющих переменных в модели используются следующие показатели: *выручка компании* в рублях (предполагается, что чем крупнее компания, тем она надежнее и тем ниже будет требуемая доходность); *темпы роста выручки* в процентах (динамика развития компании — чем она выше, тем компания успешнее и тем ниже ставка доходности); *рентабельность EBITDA* в процентах (показывает эффективность бизнеса эмитента, предполагается отрицательная зависимость между рентабельностью и доходностью); *соотношение долга компании к EBITDA* в разах (предполагается положительная корреляция этого фактора с доходностью, так как чем выше этот показатель, тем ниже кредитное качество эмитента); *соотношение заемного капитала к собственному* в разах (положительная зависимость). Все показатели рассчитываются либо для эмитента, если он сам является генератором выручки и прибыли, либо для поручителей по выпуску, если облигации были выпущены SPV. Показатели рассчитываются по последнему отчетному году перед датой размещения.

Отрасль компании. Отрасль, которую представляет эмитент, важна для исследования, так как в разные периоды времени инвесторы могут отдавать предпочтение разным индустриям, в зависимости от перспектив отрасли и стадии ее развития.

В модель введены dummy-переменные для каждой отрасли, кроме финансовой (как уже было сказано, облигации, выпущенные банками, страховыми компаниями и прочими финансовыми институтами, не рассматривались при построении модели): сельского хозяйства, машиностроения, нефтегазовой отрасли, пищевой промышленности, промышленности строительных материалов, связи и коммуникаций, строительства и девелопмента, торговли, транспорта, химической и

нефтехимической промышленности, цветной металлургии, черной металлургии, электроэнергетики. Гипотеза заключается в том, что принадлежность к определенной отрасли влияет на доходность облигаций.

Данные для расчета вышеперечисленных показателей были получены из финансовой отчетности, публикуемой на официальных сайтах компаний.

1.3. Агрегированные показатели

Прирост ВВП. Общее состояние экономики влияет на все отдельно взятые рынки страны, в том числе и на долговой рынок. Предположение заключается в следующем: когда экономика находится на подъеме (т.е. темпы роста велики), инвесторы не сомневаются в том, что компания будет функционировать успешно, и соглашаются на более низкие процентные ставки. Таким образом, выдвигается гипотеза об обратной зависимости между темпом роста ВВП и доходностью.

Для расчетов был использован прирост ВВП с учетом сезонности в процентах в квартале, предшествующем размещению. Данные получены на сайте Федеральной службы государственной статистики [16].

Изменение международных резервов РФ. Этот показатель также отражает общую ситуацию на рынке. Снижение международных резервов РФ воспринимается инвесторами как тревожный сигнал, и их ожидания корректируются в худшую сторону. Соответственно требуется более высокая доходность для того, чтобы привлечь инвесторов. Гипотеза: отрицательная корреляция между изменением резервов и спредами доходности облигаций.

В модель включено относительное изменение международных резервов в процентах за месяц, предшествующий месяцу, в котором произошло размещение облигаций. Значения этого показателя публикуются на сайте Банка России [14].

Вероятность дефолта. Так как большое влияние на рынок имеют ожидания инвесторов, а в ожиданиях инвесторов находят прямое отражение допущенные дефолты, то спреды доходности облигаций зависят от дефолтов, допущенных в соответствующий период. Следовательно, чем выше данный показатель, тем выше спреды доходности.

Вероятность дефолта в определенный период времени определяется как отношение номинальной стоимости всех облигаций, по которым был объявлен дефолт в течение этого периода, к номинальной

стоимости всех выпущенных и находящихся в обращении облигаций в тот же период: $MR_t = \frac{D_t}{B_t}$. Выдвигается гипотеза: чем выше вероятность дефолта в месяце, когда произошло размещение выпуска облигаций, тем выше спред доходности этих облигаций.

Цена нефти Urals. Поскольку российская экономика является сырьевой и зависит от цен на нефть, изменения этого показателя влияют на рост или падение экономики в целом. Оценивается следующая гипотеза: с ростом цены на нефть снижаются доходности облигаций. В модель в качестве одной из объясняющих переменных включается изменение среднемесячной цены нефти Urals в месяц, в котором произошло размещение облигации, по отношению к предшествующему месяцу.

Для расчетов среднемесячной цены использовались цены закрытия нефти Urals на Нью-Йоркской товарной бирже по дням (по данным агентства Bloomberg) [13].

Обменный курс рубля к доллару США. Валютный курс рубля к доллару также является одним из индикаторов состояния российской экономики. В модель включен обратный курс рубля к доллару США на дату размещения выпуска корпоративных облигаций. Гипотеза заключается в том, что чем выше обратный курс, тем ниже спреды доходности облигаций.

2. Построение модели

Вначале была построена мультифакторная регрессионная модель вида:

$$\begin{aligned}
 \text{Spread} = & c_1 + c_2 \cdot \text{First_Issue} + c_3 \cdot \text{Light_Bond} + c_4 \cdot \text{Book_Building} + \\
 & + c_5 \cdot \ln(\text{Volume}) + c_6 \cdot \text{Organizer} + c_7 \cdot \text{Frequency} + c_8 \cdot \text{Maturity} + c_9 \cdot \text{MR} + \\
 & + c_{10} \cdot \text{GDP} + c_{11} \cdot \text{Reserves} + c_{12} \cdot \text{Urals} + c_{13} \cdot \frac{\text{RUR}}{\text{USD}} + c_{14} \cdot \ln(\text{Revenues}) + \\
 & + c_{15} \cdot \text{Growth} + c_{16} \cdot \text{Profitability} + c_{17} \cdot \frac{\text{Fin_Debt}}{\text{EBITDA}} + c_{18} \cdot \frac{\text{Liabilities}}{\text{Equity}} + \\
 & + c_{19} \cdot D(\text{EP}) + c_{20} \cdot D(\text{EI}) + c_{21} \cdot D(\text{Tr}) + c_{22} \cdot D(\text{OG}) + c_{23} \cdot D(\text{Com}) + \\
 & + c_{24} \cdot D(\text{FM}) + c_{25} \cdot D(\text{FI}) + c_{26} \cdot D(\text{NFM}) + c_{27} \cdot D(\text{Agro}) + \\
 & + c_{28} \cdot D(\text{Chem}) + c_{29} \cdot D(\text{Trans}) + c_{30} \cdot D(\text{LI}) + c_{31} \cdot D(\text{Const}) + \\
 & + c_{32} \cdot D(\text{CMP}) + c_{33} \cdot D(\text{MI}) + c_{34} \cdot D(\text{Other}),
 \end{aligned}$$

где *First_Issue* — dummy-переменная для обозначения дебютного выпуска эмитента;

Light_Bond — dummy-переменная для обозначения биржевой облигации;

Book_Building — dummy-переменная для обозначения облигации, размещенной путем букбилдинга;

$\ln(\text{Volume})$ — натуральный логарифм от объема выпуска (объем выпуска в млн рублей);

Organizer — dummy-переменная для обозначения организаторов «первого эшелона»;

Frequency — периодичность купонных выплат (раз в год);

Maturity — срок до оферты в годах;

MR — вероятность дефолта в процентах;

GDP — прирост ВВП без сезонности в предыдущем квартале в процентах;

Reserves — прирост международных резервов РФ за предыдущий месяц в процентах;

Urals — изменение среднемесячной цены на нефть Urals в процентах по отношению к предыдущему месяцу;

RUR/USD — обратный обменный курс рубля к доллару США в рублях;

$\ln(\text{Revenues})$ — натуральный логарифм от выручки компании (выручка компании в млн рублей);

Growth — темп роста выручки компании в процентах;

Profitability — рентабельность компании по EBITDA в процентах;

Fin_Debt/EBITDA — соотношение финансового долга компании к EBITDA в разах;

Liabilities/Equity — соотношение заемного капитала к собственному в разах;

D(Agro), *D(Chem)*, *D(CMP)*, *D(Com)*, *D(Const)*, *D(EI)*, *D(EP)*, *D(FI)*, *D(FM)*, *D(LI)*, *D(MI)*, *D(NFM)*, *D(OG)*, *D(Tr)*, *D(Trans)*, *D(Other)* — dummy-переменные для обозначения принадлежности эмитента к одной из отраслей (сельское хозяйство, химическая промышленность, производство строительных материалов, связь и телекоммуникации, строительство и девелопмент, машиностроение, электроэнергетика, пищевая промышленность, черная металлургия, легкая промышленность, горнодобывающая промышленность, цветная металлургия, нефтегазовая отрасль, торговля, транспорт, другие отрасли соответственно).

Затем постепенно модель была очищена от незначимых факторов. В результате получена следующая модель зависимости спреда (в процентах) от различных факторов:

$$\begin{aligned}
 \text{Spread} = & 0,1591 - 0,0114 \cdot \text{Light_Bond} + 0,0078 \cdot \text{Book_Building} - \\
 & 0,0046 \cdot \ln(\text{Volume}) - 0,006 \cdot \text{Organizer} - 0,0044 \cdot \text{Maturity} + 1,0371 \cdot \text{MR} - \\
 & -0,019 \cdot \text{Urals} - 0,0021 \cdot \frac{\text{RUR}}{\text{USD}} - 0,0025 \cdot \ln(\text{Revenues}) + 0,0008 \cdot \frac{\text{Fin_Debt}}{\text{EBITDA}} + \\
 & +0,0011 \cdot \frac{\text{Liabilities}}{\text{Equity}} + 0,0126 \cdot D(\text{Tr}) + 0,0082 \cdot D(\text{OG}) + 0,0125 \cdot D(\text{FM}) + \\
 & +0,007 \cdot D(\text{FI}) + 0,0227 \cdot D(\text{Agro}) + 0,0116 \cdot D(\text{Chem}) + 0,0119 \cdot D(\text{Trans}) + \\
 & +0,0158 \cdot D(\text{LI}) + 0,012 \cdot D(\text{Const}) + 0,021 \cdot D(\text{CMP}) + 0,0115 \cdot D(\text{MI}) + \\
 & +0,0104 \cdot D(\text{Other}).
 \end{aligned}$$

Все факторы значимы на 1%-м уровне значимости, кроме $D(LI)$, который значим на 5%-м уровне значимости. Скорректированный коэффициент детерминации — 65,9%.

Таким образом, обнаружена зависимость доходности облигаций в день размещения от формата размещения, от объема размещения, от типа организатора, от срока до погашения (до оферты), от вероятности дефолта, от изменения цены на нефть, от валютного курса рубля к доллару США, от выручки компании-эмитента, от соотношения финансового долга к EBITDA, от соотношения заемного и собственного капитала, от отрасли заемщика. Кроме того, проведенное исследование показало, что спред доходности биржевых облигаций в целом ниже, чем спред доходности обычных облигаций.

На рис. 1 представлены спред фактический, спред смоделированный и остатки в полученной модели. Нетрудно заметить, что начиная приблизительно с 275-го наблюдения остатки становятся больше (т.е. возрастает ошибка прогнозирования). Это позволяет сделать предположение о том, что полученная модель хуже объясняет спреды доходности для выборки из последних 200–210 наблюдений. Наблюдения в выборке отсортированы по дате (причем 275–280-е наблюдения приходятся на конец апреля — начало мая 2008 г.), поэтому выдвигается гипотеза о том, что в связи с осложнившейся ситуацией на мировых финансовых рынках инвесторы с конца весны 2008 г. стали по-новому оценивать риски эмитентов, и модели, объясняющие спреды доход-



Рис. 1. Разница между фактическим спредом и спредом, смоделированным в общей модели

ности на этих двух периодах (январь 2006 г. — апрель 2008 г. и май 2008 г. — декабрь 2010 г.), должны быть разными.

Для проверки сделанного предположения был проведен тест на стабильность выборки (тест Чоу). Для этого была рассчитана F -статистика:

$$F = \frac{(RSS_R - RSS_{UR}) / ((k+1) \cdot (m-1))}{RSS_{UR} / (n - m \cdot (k+1))}.$$

$$F = \frac{(0,078461 - (0,022739 + 0,04376)) / ((24+1) \cdot (2-1))}{(0,022739 + 0,04376) / (482 - 2 \cdot (24+1))} = 3,13, \text{ что превышает}$$

критическое значение $F_{25,435} = 1,816$ для уровня значимости $\alpha = 0,01$, значит, выборки объединять нельзя (гипотеза подтвердилась).

Исходя из этого были построены две модели: «докризисная» (на данных января 2006 г. — апреля 2008 г.) и «кризисная» (на данных мая 2008 г. — декабря 2010 г.).

2.1. Построение «докризисной» модели

В выборку для построения «докризисной» модели вошли 276 наблюдений (выпуски корпоративных облигаций, размещенных в период с января 2006 г. по апрель 2008 г.). Сначала, как и при построении общей модели, была построена регрессионная модель вида:

$$\begin{aligned} Spread = & c_1 + c_2 \cdot First_Issue + c_3 \cdot Light_Bond + c_4 \cdot Book_Building + \\ & + c_5 \cdot \ln(Volume) + c_6 \cdot Organizer + c_7 \cdot Frequency + c_8 \cdot Maturity + c_9 \cdot MR + \\ & + c_{10} \cdot GDP + c_{11} \cdot Reserves + c_{12} \cdot Urals + c_{13} \cdot \frac{RUR}{USD} + c_{14} \cdot \ln(Revenues) + \\ & + c_{15} \cdot Growth + c_{16} \cdot Profitability + c_{17} \cdot \frac{Fin_Debt}{EBITDA} + c_{18} \cdot \frac{Liabilities}{Equity} + \\ & + c_{19} \cdot D(EP) + c_{20} \cdot D(EI) + c_{21} \cdot D(Tr) + c_{22} \cdot D(OG) + c_{23} \cdot D(Com) + \\ & + c_{24} \cdot D(FM) + c_{25} \cdot D(FI) + c_{26} \cdot D(NFM) + c_{27} \cdot D(Agro) + \\ & + c_{28} \cdot D(Chem) + c_{29} \cdot D(Trans) + c_{30} \cdot D(LI) + c_{31} \cdot D(Const) + \\ & + c_{32} \cdot D(CMP) + c_{33} \cdot D(MI) + c_{34} \cdot D(Other). \end{aligned}$$

Затем модель была очищена от незначимых факторов. В результате «докризисная» модель приняла следующий вид:

$$\begin{aligned} Spread = & 0,1922 - 0,0081 \cdot \ln(Volume) - 0,0032 \cdot Organizer - \\ & - 0,0049 \cdot Maturity + 5,1978 \cdot MR - 0,075 \cdot Reserves - 0,0024 \cdot \frac{RUR}{USD} - \\ & - 0,0026 \cdot \ln(Revenues) + 0,0009 \cdot \frac{Fin_Debt}{EBITDA} + 0,0009 \cdot \frac{Liabilities}{Equity} + \\ & + 0,0132 \cdot D(Tr) + 0,0114 \cdot D(OG) + 0,0114 \cdot D(FM) + 0,0098 \cdot D(FI) + \\ & + 0,0253 \cdot D(Agro) + 0,0116 \cdot D(Chem) + 0,012 \cdot D(Trans) + 0,015 \cdot D(LI) + \\ & + 0,0142 \cdot D(Const) + 0,0193 \cdot D(CMP) + 0,0166 \cdot D(MI) + 0,0106 \cdot D(Other). \end{aligned}$$

Скорректированный коэффициент детерминации полученной регрессии составил 78,83%, все факторы значимы на 1%-м уровне значимости.

Таким образом, в результате проведенного исследования были приняты гипотезы об обратной зависимости спреда доходности корпоративных облигаций от объема выпуска, от срока до погашения (до

оферты), от прироста международных резервов РФ, от обратного обменного курса рубля к доллару США и от выручки компании-эмитента. Кроме того, приняты гипотезы о прямой зависимости спреда доходности облигаций от вероятности дефолта, от соотношения финансового долга компании к EBITDA и от соотношения заемного капитала к собственному. Далее, согласно построенной модели спред доходности ниже у выпусков облигаций, организованных организаторами «первого эшелона». Наконец, спред доходности корпоративных облигаций оказался зависимым от отрасли компании-эмитента. Самые высокие доходности характерны для облигаций, выпущенных предприятиями агропромышленного комплекса, производителями строительных материалов, горнодобывающими компаниями, предприятиями легкой промышленности и строительными компаниями. Самые низкие — у облигаций электроэнергетических, машиностроительных предприятий и компаний телекоммуникационной отрасли.

Факторы, рассматриваемые в качестве регрессоров в модели, взаимосвязаны друг с другом (например, соотношение долга к EBITDA и рентабельность по EBITDA, выручка компании и объем облигационного займа и т.д.), поэтому для проверки наличия или отсутствия мультиколлинеарности в модели был рассчитан VIF (коэффициент вздутия вариации) для каждого регрессора. Проведенный тест доказал, что мультиколлинеарность в построенной модели отсутствует.

2.2. Построение «кризисной» модели

В выборку для построения «кризисной» модели вошли 209 наблюдений (выпуски корпоративных облигаций, размещенных в период с мая 2008 г. по декабрь 2010 г.). Сначала была построена регрессионная модель вида:

$$\begin{aligned}
 \text{Spread} = & c_1 + c_2 \cdot \text{First_Issue} + c_3 \cdot \text{Light_Bond} + c_4 \cdot \text{Book_Building} + \\
 & + c_5 \cdot \ln(\text{Volume}) + c_6 \cdot \text{Organizer} + c_7 \cdot \text{Frequency} + c_8 \cdot \text{Maturity} + c_9 \cdot \text{MR} + \\
 & + c_{10} \cdot \text{GDP} + c_{11} \cdot \text{Reserves} + c_{12} \cdot \text{Urals} + c_{13} \cdot \frac{\text{RUR}}{\text{USD}} + c_{14} \cdot \ln(\text{Revenues}) + \\
 & + c_{15} \cdot \text{Growth} + c_{16} \cdot \text{Profitability} + c_{17} \cdot \frac{\text{Fin_Debt}}{\text{EBITDA}} + c_{18} \cdot \frac{\text{Liabilities}}{\text{Equity}} + \\
 & + c_{19} \cdot D(\text{EP}) + c_{20} \cdot D(\text{EI}) + c_{21} \cdot D(\text{Tr}) + c_{22} \cdot D(\text{OG}) + c_{23} \cdot D(\text{Com}) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&+c_{24} \cdot D(FM) + c_{25} \cdot D(FI) + c_{26} \cdot D(NFM) + c_{27} \cdot D(Agro) + c_{28} \cdot D(Chem) + \\
&+c_{29} \cdot D(Trans) + c_{30} \cdot D(LI) + c_{31} \cdot D(Const) + c_{32} \cdot D(CMP) + \\
&+c_{33} \cdot D(MI) + c_{34} \cdot D(Other).
\end{aligned}$$

После очищения от незначимых факторов модель принимает вид:

$$\begin{aligned}
Spread = &0,152 - 0,0117 \cdot Light_Bond - 0,0078 \cdot Organizer - \\
&-0,0034 \cdot Maturity + 0,4527 \cdot MR + 0,1254 \cdot Reserves - 0,0277 \cdot Urals - \\
&-0,0013 \cdot \frac{RUR}{USD} - 0,0045 \cdot \ln(Revenues) - 0,0304 \cdot Profitability - \\
&-0,0189 \cdot D(EP) - 0,0091 \cdot D(EI) - 0,0173 \cdot D(FI) + 0,0113 \cdot D(Agro).
\end{aligned}$$

Факторы *Urals*, *RUR/USD* и *D(EI)* значимы на 5%-м уровне значимости, остальные — на уровне значимости 1%. Скорректированный коэффициент детерминации составил 62,9%.

В результате построения «кризисной» модели была обнаружена обратная зависимость спредов доходности корпоративных облигаций к доходности государственных облигаций от срока до погашения (до оферты), от прироста среднемесячной цены нефти *Urals*, от обратного обменного курса рубля к доллару США, от выручки и рентабельности по EBITDA компании-эмитента. Кроме того, была обнаружена прямая зависимость спреда доходности от вероятности дефолта и от прироста международных резервов РФ, что противоречит выдвинутой гипотезе об обратной зависимости и может быть объяснено тем, что, несмотря на совокупный прирост резервов в течение 2009–2010 гг., спреды доходности были высокими вследствие других причин, эффект от которых не был компенсирован приростом международных резервов РФ. В результате построения модели обнаружена также зависимость спредов доходности от типа организатора (если организатор по выпуску относится к «первому эшелону», спред доходности ниже) и от отрасли (самые высокие доходности у облигаций, размещенных компаниями агропромышленного комплекса, самые низкие — у облигаций машиностроительных, электроэнергетических предприятий и предприятий пищевой промышленности). И наконец, подтвердилась гипотеза о том, что спреды доходности биржевых облигаций в среднем ниже, чем спреды доходности обычных корпоративных облигаций.

В построенной «кризисной» модели, так же как и в «докризисной», мультиколлинеарности факторов не обнаружено.

Одним из основных выводов, полученных в результате проведения исследования, является возможность смоделировать спреды доходности российских корпоративных облигаций (наличие зависимости спредов доходности от определенных факторов). При этом объяснительной силой обладают как факторы, относящиеся к характеристикам компании-эмитента и облигационного выпуска, так и агрегированные показатели, характеризующие состояние российской экономики в целом. Из характеристик компании-эмитента самое сильное влияние оказывают выручка заемщика и принадлежность к определенной отрасли. Значимыми оказываются также долговые соотношения (в «докризисной» модели) и рентабельность по EBITDA (в «кризисной» модели). Среди параметров облигационного выпуска объяснительной силой обладают объем выпуска, срок до погашения (до оферты), тип организатора и принадлежность облигации к классу биржевых облигаций. Агрегированные показатели, влияющие на спреды доходности корпоративных облигаций, представлены вероятностью дефолта, обменным курсом рубля к доллару США, приростом цены нефти Urals (в «кризисной» модели) и приростом международных резервов РФ.

Выдвинутые гипотезы и результаты их тестирования на всем временном интервале и отдельно в период «до кризиса» и в период «кризиса» представлены в табл. 2.

Важным выводом, имеющим практическое значение, является наличие в обеих моделях зависимости спреда доходности от типа организатора. Построенные модели доказывают, что выпуски, в размещении которых участвуют организаторы «первого эшелона», имеют спред доходности в среднем на 0,32% (на 0,78% в «кризисной» модели) ниже, чем выпуски, размещенные организаторами «второго эшелона». Полученный результат подтверждает гипотезу о том, что размещение облигационного займа организатором «первого эшелона» является сигналом о качестве компании-эмитента и делает заемные средства более дешевыми для эмитента.

Интересен тот факт, что в «кризисной модели» макроэкономические факторы имеют большее значение, чем в «докризисной», а характеристики компании-эмитента и параметры выпуска — меньше. Это объясняется тем, что в условиях финансово-экономического кризиса ожидания инвесторов формируются в основном за счет состояния экономики в целом и макроэкономических тенденций, а не характеристик отдельной компании или выпуска.

Таблица 2. Выдвинутые гипотезы и результаты их проверки

Тестируемый фактор	Гипотеза	Результат эмпирической проверки		
		Общая модель	«Докризисная» модель	«Кризисная» модель
Срок до погашения (до оферты)	Наличие обратной зависимости между сроком до погашения и спредами	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась
Фактор первого выпуска эмитента	Для облигаций, выпущенных компаниями, впервые вышедшими на рынок публичных заимствований, сред доходности будет выше	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась
Периодичность выплаты купона	Чем чаще выплачивается купонный доход, тем сред ниже	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась
Объем выпуска	Обратная зависимость между натуральным логарифмом от объема выпуска и спредами доходности	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась
Тип организатора	У выпусков, размещенных организаторами «первого эшелона», сред доходности ниже	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась
Формат размещения	У облигаций, размещенных путем букбилдинга, сред доходности ниже	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась

Тестируемый фактор	Гипотеза	Результат эмпирической проверки		
		Общая модель	«Докризисная» модель	«Кризисная» модель
Биржевые облигации	У биржевых облигаций spread доходности ниже, чем у обычных корпоративных облигаций	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза подтвердилась
Вероятность дефолта	Чем выше вероятность дефолта, тем spread доходности выше	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась
Прирост ВВП	Наличие обратной зависимости между spreadом и приростом ВВП	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась
Прирост международных резервов РФ	Отрицательная корреляция spreadа и прироста международных резервов РФ	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась
Прирост цены нефти Urals	Наличие обратной зависимости между приростом цены нефти Urals и spreadами доходности	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза подтвердилась
Обратный обменный курс рубля к доллару США	Отрицательная корреляция между обратным обменным курсом рубля к доллару США и spreadом доходности	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась
Выручка компании	Чем выше логарифм от выручки компании, тем ниже spread	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась
Темп роста выручки компании	Обратная зависимость между темпом роста выручки и spreadом	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась

Рентабельность по EBITDA	Чем выше рентабельность, тем ниже спред	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась	Гипотеза подтвердилась
Соотношение долга компании к EBITDA	Прямая зависимость спреда от соотношения долга к EBITDA	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась
Соотношение заемного капитала к собственному	Прямая зависимость спреда от соотношения заемного капитала к собственному	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза не подтвердилась
Отрасль компании	Принадлежность компании к той или иной отрасли влияет на спреды доходности ее облигаций	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась	Гипотеза подтвердилась

Источники

1. *Collin-Dufresne P., Goldstein R., Martin S.* The Determinants of Credit Spread Changes // Journal of Finance. 2001. Vol. 56. No. 6. P. 2177–2207.
2. *Dubovy E.* The Determinants of Interest Rates on High-Yield Bonds. F Dissertation, The City University of New York, 1998.
3. *Elton E., Gruber M., Agrawal D., Mann C.* Explaining the Rate Spread on Corporate Bonds? // Journal of Finance. 2001. Vol. 56. P. 247–277.
4. *Fisher L.* Determinants of Risk Premiums on Corporate Bonds. Journal of Political Economy. 1959. Vol. 67. No. 3. P. 217–237.
5. *Fridson M., Garman C.* Determinants of Spreads on New High-Yield Bonds // Financial Analysts Journal. 1998. Vol. 54. No. 2. P. 28–39.
6. *Gabbi G., Sironi A.* Which Factors Affect Corporate Bonds Pricing? Empirical Evidence from Eurobonds Primary Market Spreads // The European Journal of Finance. 2005. Vol. 11. No. 1. P. 59–74.
7. *Garman C., Fridson M.* Monetary Influences on the High-Yield Spreads Versus Treasuries // Extra Credit. 1996. July/August. P. 13–26.
8. *Liu Y., Jiraporn P.* The Effect of CEO Power on Bond Ratings and Yields // Journal of Empirical Finance. 2010. Vol. 17. P. 744–762.
9. *Lo A., Mamaysky H., Wang J.* Asset Prices and Trading Volume under Fixed Transaction Costs // Journal of Political Economy. 2004. Vol. 112. P. 1054–1090.
10. *Lu C.-W., Chen T.-K., Liao H.-H.* Information Uncertainty, Information Asymmetry and Corporate Bond Yield Spreads // Journal of Banking and Finance. 2010. Vol. 34. P. 2265–2279.
11. *Nakashima K., Saito M.* Credit Spreads on Corporate Bonds and The Macroeconomy in Japan // Journal of The Japanese and International Economies. 2009. Vol. 23. P. 309–331.
12. *Pedrosa M., Roll R.* Systematic Risk in Corporate Bond Credit Spreads // Journal of Fixed Income. 1998. Dec. P. 7–26.
13. Информационное агентство Bloomberg.
14. Сайт Банка России. URL: <http://cbr.ru/gcurve/curve.asp>
15. Сайт Информационного агентства Cbonds. URL: <http://cbonds.info/ru/rus/>
16. Сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: <http://gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstarsite/main/account/>

Д.Н. Николаенко
Научный
руководитель —
Е.А. Буянова
Кафедра
фондового рынка
и рынка инвестиций

Исчезновение пузыря как результат спекулятивной атаки

В работе анализируется теоретико-игровая модель, показывающая, что экономический пузырь может лопнуть из-за стремления спекулянтов заработать на обвале цен. В исследовании показывается, какие условия модели могут быть достаточными для единственности равновесия Байеса — Нэша, а какие — необходимыми. Кроме того, в статье обсуждается вопрос существования таких состояний цен, для которых пузырь всегда лопается или никогда не исчезает.

Введение

Обычно экономический пузырь на рынке некоторого актива представляется как явление продолжительного роста цены этого актива, превышающей величину его фундаментальной стоимости, за которым следует ее резкое падение. Существуют работы, в которых предпринята попытка выявить причины образования пузырей. Так, на основе техники экспериментов Хоммс и др. [4] делают предположение, что пузыри на финансовых рынках могут возникать из-за того, что спекулянты склонны экстраполировать существующие в динамике цен тренды, т.е. если, например, в ближайшем прошлом цена росла, то инвесторы ожидают ее дальнейшего увеличения. Хирота и Сандэр [3], также прибегая к экспериментам, приходят к выводу, что если инвесторы придерживаются краткосрочного горизонта планирования, то образование пузыря возможно, но если горизонт долгосрочный, то обычно пузыри не возникают.

В статье Шиллера [10] с помощью опросов сделана попытка определить, какие из причин падения Промышленного индекса Доу-Джонса, произошедшего¹ 19 октября 1987 г., динамики цен на рынке

¹ Это самое большое падение Промышленного индекса Доу-Джонса за всю его историю на момент написания работы.

недвижимости в некоторых городах США с середины 1987 до середины 1988 г., а также часто встречающейся на практике недооценки стоимости IPO являются наиболее правдоподобными с точки зрения агентов, которые могли быть участниками этих рыночных ситуаций. Респонденты полагают, что, скорее всего, основным импульсом к падению Промышленного индекса Доу-Джонса стала психология инвесторов. Анализируя ответы на вопросы о рынке недвижимости, Шиллер [10] делает предположение, что представления агентов о динамике цен характеризуются «иллюзией недостатка (избытка)»: убеждением, что если на рынке имеет место избыток спроса (избыток предложения), то так будет и на протяжении бесконечного периода времени. По поводу недооценки стоимости IPO в статье говорится, например, что в целом респонденты отводят большую роль в объяснении этого явления психологии инвесторов. Кроме того, в одном из опросов 28% институциональных игроков и 47% богатых агентов подтверждают, что первоначальное увеличение цены акции, следующее за IPO, лишь повышает их мнение о компетентности андеррайтера, проводившего первичное размещение. На основании этого Шиллер делает вывод, что на деле причиной обсуждаемого явления может оказаться «теория импресарио» (в которой андеррайтер несколько занижает стоимость IPO, чтобы успешно завершить размещение и впоследствии поддержать свою репутацию в глазах инвесторов). Если верить статье [ibid.], то, по сути, определенного рода ожидания инвесторов могут обусловить образование и исчезновение пузыря.

Думается, что обоснования исчезновения пузырей интересны сами по себе ввиду важности экономических последствий резкого падения цен после продолжительного периода их роста. Зачастую в литературе, посвященной пузырям, как и в работах [3] и [4], излагаются причины отрыва фактической цены от фундаментальной, но не объясняется, почему пузыри лопаются. В статье [10] упоминаются некоторые возможные обоснования взрыва, но не представлен конкретный механизм исчезновения пузыря. Поэтому весьма актуальны убедительные ответы на вопрос, как возникает ситуация пропадаания пузыря. Например, Эбрё и Бруннермейер [1] предлагают динамическую игру, в которой взрыв происходит в случае, если достаточно большое количество агентов продает актив, при этом спекулянты стремятся сбить его подороже, и прибыль не зависит от цен, устанавливающихся после исчезновения пузыря.

В настоящем исследовании используется игра смены режима, похожая на модель самосбывающегося валютного кризиса, изложен-

ную, например, Моррисом и Шином [8]. Сюжет этой модели [Ibid.] фактически является обобщением примера игр с участием государства и двух спекулянтов. Он приводится Обстфельдом [9] для иллюстрации ситуаций, связанных со спекулятивной атакой курса валюты при различных международных резервах государства, рассматривающего вопрос удержания курса, в случае полной информации. С помощью этого примера Обстфельд демонстрирует стратегические основы самосбывающихся кризисов, показывая, что при некоторых уровнях резервов государства может возникнуть игра, в которой есть два равновесия Нэша в чистых стратегиях: в одном оба спекулянта атакуют курс, и он обваливается, в другом — оба не атакуют, и курс не меняется. Таким образом, при некоторых состояниях экономики возникает множественность² равновесий: кризис (обвал курса) может как случиться, так и не случиться.

Наше исследование опирается на аппарат глобальных игр. Определение «глобальной игры» дается в статье Карлссона и Ван Дамма [2]: таковой называют «игру с неполной информацией, где платежная матрица выбирается случайно из заданного класса игр и где каждый игрок получает сигнал о выбранной игре»³. Применив этот аппарат в модели самосбывающегося кризиса, Моррис и Шин [8] доказали единственность симметричной равновесной стратегии спекулянта из класса предписывающих «атаковать», если и только если значение сигнала о состоянии экономики ниже некоторого порогового уровня. Для условий предложенной в статье [Ibid.] модели Моррис и Шин определили, что обвал валюты произойдет, если и только если значение состояния⁴ экономики не выше некоторого граничного уровня, в случае, когда для принятия решения о защите курса государство использует оценку доли атакующих агентов, которая равна математическому ожиданию доли атакующих спекулянтов.

В свете того, что в глобальных играх агенты зачастую не знают, что делают другие спекулянты в равновесиях, интересно понять, какими

² Этот пример очень хорош тем, что передает характерную черту самосбывающихся кризисов: если спекулянты верят в то, что будет массовая атака на курс, то обвал валюты происходит, если не верят, то у государства получается удержать курс (см., например, [9]).

³ См. [2, p. 989].

⁴ Это параметр, который однозначно определяет, в какой реализации игры находятся спекулянты.

свойствами обладают последние в рассматриваемой игре смены режима, если каждый агент склонен каким-то определенным образом судить о положении дел других. В данном исследовании единственность равновесия Байеса — Нэша доказана для случая, когда спекулянты не знают функции распределения сигналов других агентов, но наделены предубеждениями о вероятности обвала цен. Уход от предположения, что спекулянты знают функции распределения сигналов других агентов, анализируется также Измалковым и Йилдизом, которые вводят в своей работе [5] понятие «sentiment». В игре смены режима для каждого значения доли p «sentiment» агента i — это вероятность, которую спекулянт i приписывает событию, когда доля агентов, получивших большие⁵ значения сигналов, не меньше, чем $1 - p$. Измалков и Йилдиз [Ibid.] доказывают, что в игре смены режима с континуумом агентов в условиях неполной информации при стремлении шума сигнала спекулянта к нулю для него существует единственная стратегия, выживающая после удаления доминируемых и основывающаяся на сравнении ожидаемых платежей при условии получения сигналов. На основании данной стратегии, выведенной для некоторого агента, можно сделать вывод, что при возрастающем⁶ преобразовании функции «sentiment» этого спекулянта, сохраняющем область значений функций, множество сигналов, при которых агент выбирает действие «атаковать», расширяется. В то же время в нашей работе особое внимание уделяется тому, что при определенных условиях на предубеждения спекулянтов о вероятностях обвала цен при любых положительных значениях шума сигнала агента, удовлетворяющих некоторому техническому условию, вне зависимости от того, каковы веры в падение цен, существует единственное равновесие Байеса — Нэша, в нем спекулянт продает актив, если и только если сигнал ниже порогового уровня.

Цель данного исследования — с помощью теоретико-игровой модели показать, что пузырь может лопнуть из-за стремления спекулянтов заработать на обвале цен, и определить, какие условия могут быть достаточными для единственности равновесия Байеса — Нэша, а какие — необходимыми. Актуальность работы подтверждается тем, что в литературе⁷ нет конкретных ответов на поставленные вопросы. Кроме

⁵ По сравнению с сигналом агента i .

⁶ На всех сегментах из внутренности промежутка $[0; 1]$.

⁷ См., например, [6; 7; 8].

того, в статье рассказывается, как устроены оптимальные стратегии поведения спекулянтов, желающих заработать деньги за счет деятельности, нацеленной на обвал цен в условиях их продолжительного роста. Соответственно задачами работы являются непосредственно построение модели, доказательство утверждений, позволяющих понять, от каких условий зависит количество равновесий, а также определение вида равновесных стратегий.

1. Модель

Действие совершается на рынке некоторого актива, цену которого определяет соотношение сил спроса и предложения, представленных некоторыми игроками. Предполагается, что чем в большей степени цена превышает фундаментальную стоимость актива, тем сильнее рынок подвержен риску падения цен. Вводится параметр⁸ состояния цен θ :

$$\theta = (\text{Фундаментальная стоимость}^9 \text{ актива} - \text{Цена актива} + B)/B, \quad (1)$$

где разница между фундаментальной стоимостью актива и его ценой нормирована и центрирована так, чтоб θ для удобства принадлежала $[0; 1]$. Ввиду разумного ограничения цен в условиях возможности пузыря (разница между ценой актива и фундаментальной стоимостью актива положительна и меньше B) предполагается, что $B > 0$.

На рынке есть информируемые спекулянты, каждый из которых получает сигнал о значении состояния цен, а также неинформируемые агенты, которые таких сигналов о состоянии цен не получают и представляют собой «остальной мир». Предполагается, что если информируемый спекулянт¹⁰ хочет занять единицу актива или какую-то его долю, то он всегда сможет это сделать, он также может реализовать единицу актива или ее долю по какой-то цене, на которую согласен рынок. В ходе Игры спекулянт решает, нужно ли атаковать существующую цену. Дело в том, что если для состояния цен θ доля

⁸ В формуле (1) используются цена актива и его фундаментальная стоимость для одного и того же момента или промежутка времени.

⁹ В данном исследовании под фундаментальной стоимостью (ценой) фактически понимается та цена, которая устанавливается на рынке при отсутствии пузыря.

¹⁰ В дальнейшем под словами «спекулянт», «игрок» и «агент» понимается информируемый спекулянт, если не оговорено иное.

информированных агентов, продающих актив, не меньше критической доли $a(\theta)$, то пузырь лопается, поскольку в такой ситуации на рынке не остается тех, кто готов платить за единицу актива установившуюся прежде цену. Предполагается, что после взрыва пузыря единица актива может быть реализована по цене, равной фундаментальной стоимости, но не выше. Атака одним спекулянтом осуществляется посредством короткой продажи одной единицы актива или ее доли и сопряжена с затратами в размере t , $t > 0$. Пусть некоторое время до Игры цена актива росла, а на момент принятия информируемыми агентами решения об атаке она равняется m . Получается, что в этот момент $\theta = (f - m + B)/B$, где f — фундаментальная стоимость актива для данного θ .

Предполагается, что если спекулянт продает единицу актива, то он выставляет заявку на продажу по цене m , поскольку она превалирует на рынке. Если доли атакующих агентов не хватает, чтобы обвалить цену, то продававший любую ненулевую долю единицы актива спекулянт несет затраты в размере t , потому что ему приходится покупать эту долю по m за единицу с целью возврата. Когда пузырь лопается, агент становится обладателем чистой выгоды $m - f(\theta) - t$, если он успевает продать единицу актива («проскочить») по цене m , и несет затраты в размере t , если не успевает. При этом спекулянт i считает, что ему удастся «проскочить»¹¹ с вероятностью $0 < S_i < 1$. Если же агент не атакует, то его чистая выгода равна 0. Считается, что существует $\underline{\theta}$ — такое состояние цен, что при всех значениях состояний цен, меньших или равных $\underline{\theta}$, пузырь всегда лопается, например по экзогенным¹² причинам, и такое $\bar{\theta}$, что $m - f(\bar{\theta}) = t$, а также $m - f(1) < t$.

Предполагается, что государство и агенты знают все эти условия модели, а также количество¹³ спекулянтов в экономике и понимают, что все знают это, а также что все знают, что все знают, что все знают и т.д.

¹¹ Предполагается, что он не снижает цену продажи, чтобы увеличить шансы «проскочить», а выставляет заявку на покупку по цене m , поскольку на деле снижение цены далеко не всегда может привести к появлению дополнительной возможности «проскочить», ведь другие агенты также могли бы снижать цены продажи, руководствуясь желанием увеличить шансы на получение положительной прибыли.

¹² Например, как в статье [1].

¹³ Если не оговорено, чему оно равно, то имеется в виду, что утверждение верно для континуума, счетного и конечного множества агентов.

Условия Игры

1. Выполнены все указанные выше условия.
2. Природа выбирает тип θ из равномерного распределения на отрезке $[0; 1]$.
3. При выбранном типе θ каждый спекулянт получает сигнал x_i , который извлекается из равномерного распределения на отрезке $[\theta - e; \theta + e]$, где $e > 0$, сигналы, посланные разным спекулянтам, независимы («Conditional on θ , the signals are identical and independent across individuals»¹⁴). Получив сигнал, каждый спекулянт самостоятельно решает, что делать: атаковать цену или нет, поэтому стратегия спекулянта определяется как функция, которая переводит значение сигнала в действие.
4. Платежами игроков в каждой определенной ситуации являются соответствующие чистые выгоды¹⁵.
5. Спекулянты знают условия 1–4 Игры.

Эта Игра относится к играм смены режима¹⁶, поскольку платежи спекулянтов зависят от того, сменится ли режим (лопнет ли пузырь). При этом если для каждого конкретного состояния θ доля атакующих меньше значения $a(\theta)$, то в такой экономике режим не меняется.

2. Характеристики равновесий Байеса — Нэша

2.1. Отсутствие частичных продаж

Для каждого значения θ доля спекулянтов, продающих актив, в случае информационной структуры с независимыми сигналами не предопределена. Поэтому для любого x при расчете функции ожидаемой прибыли агента от решения «продавать» вместо прибыли в каждом возможном при данном сигнале x значении состояния экономики θ нужно ставить вероятность обвала цены при данном θ , умноженную на величину прибыли для случая реализации этого состояния. Таким обра-

¹⁴ См. [6, р. 590]. Это стандартное условие, которое используется, например, в основополагающей статье [2].

¹⁵ Как и в модели из работы [8], для определенности предполагается следующее. Если чистые выгоды спекулянта от действий «продавать» и «отказаться от короткой продажи» совпадают, то он выбирает второе.

¹⁶ Определение этого класса игр есть, например, в статье [6, р. 28–29], и в работе [5, р. 11].

зом, функция ожидаемой прибыли агента i от решения «продавать долю $\pi_i(x)$ единицы актива» при условии получения сигнала x выглядит так:

$$u_i(x, \pi_i, \pi_{-i}) = \left(\frac{\pi_i(x)}{z - w} \int_{[w; z]} s_i(m - f(\theta)) p_i(\theta, \pi_i, \pi_{-i} | x) d\theta \right) - t, \quad (2)$$

где $w = \min\{-e; x - e\}$;

$z = \min\{1 + e; x + e\}$;

π_{-i} — вектор стратегий других спекулянтов;

$p_i(\theta, \pi_i, \pi_{-i} | x)$ — вероятность падения цен в состоянии θ глазами этого спекулянта, при условии, что агент видит сигнал x .

Утверждение 1. *В рассматриваемой Игре в любом равновесии Байеса — Нэша стратегия агента всегда представляет собой функцию, которая каждой реализации сигнала ставит в соответствие либо действие «продавать», либо действие «отказаться от короткой продажи», т.е. либо число 1, либо число 0.*

Доказательство. Пусть $\pi_i(x)$ — это стратегия отдельного спекулянта, которая соответствует равновесию Байеса — Нэша в рассматриваемой Игре. Допустим, что, думая о чистых стратегиях, агент спрашивает себя, стоит ли при получении какого-то конкретного сигнала x менять действие $\pi_i(x)$ на некоторое действие $\pi'_i(x)$, для которого известно, что $\pi_i(x) > \pi'_i(x)$, $0 < \pi'_i(x) < 1$, если стратегии всех остальных участников игры остаются неизменными. В данном случае переход от $\pi_i(x)$ к $\pi'_i(x)$ не может привести к увеличению значений функции p_i . Согласно условиям модели $m - f(\theta) > 0$ для любого $\theta < 1$, поэтому верно следующее неравенство:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\pi_i(x)}{z - w} \int_{[w; z]} s_i(m - f(\theta)) p_i(\theta, \pi_i, \pi_{-i} | x) d\theta \right) - \\ & - t \geq \left(\frac{\pi'_i(x)}{z - w} \int_{[w; z]} s_i(m - f(\theta)) p_i(\theta, \pi'_i, \pi_{-i} | x) d\theta \right) - t. \end{aligned} \quad (3)$$

А если на сегменте $[w; z]$ существует хотя бы бесконечно малая непустая окрестность значений состояний цен, для которой $p_i(\theta, \pi_i, \pi_{-i} | x) > 0$, то верно неравенство:

$$\left(\frac{\pi_i(x)}{z-w} \int_{[w;z]} s_i(m-f(\theta)) p_i(\theta, \pi_i, \pi_{-i} | x) d\theta \right) >$$

$$> \left(\frac{\pi'_i(x)}{z-w} \int_{[w;z]} s_i(m-f(\theta)) p_i(\theta, \pi'_i, \pi_{-i} | x) d\theta \right). \quad (4)$$

Это означает, что даже при отрицательных значениях ожидаемой чистой прибыли агента для каждого сигнала x продажа меньшей доли единицы актива доминируется продажей большей доли, если эти доли положительны. Поэтому действие «продавать единицу актива» не может оказаться менее выгодным для спекулянта, чем «продавать долю, меньшую единицы, но большую нуля». Если при данной реализации x действие «продавать» приносит отрицательное значение ожидаемой чистой прибыли, то агент обоснованно выбирает действие «отказаться от короткой продажи», при котором его выигрыш с определенностью равен 0. Следовательно, при рассмотрении чистых стратегий функция $\pi_i(x)$ не может принимать значения, отличные от 1 или 0. Аналогичным образом смешанные стратегии, в которых агент с определенными вероятностями выбирает продажи различных долей единицы актива, включая 1 и 0, так, что они не совпадают с чистыми стратегиями «продавать единицу актива» и «отказаться от короткой продажи», доминируются одной из двух последних, поскольку ожидаемое значение доли продаж в таком случае меньше единицы и больше нуля. Отсюда — справедливость Утверждения 1. Следует заметить, что этот вывод верен как для континуума, так и для счетного и конечного числа спекулянтов. Дело в том, что влияние количества агентов в неравенствах (3) и (4) учитывается только в функции p_i (при этом $p_i(\theta; \pi_i; \pi_{-i} | x) > 0$).

Таким образом, в любом равновесии Байеса — Нэша отсутствуют частичные продажи. В исследовании Эбрё и Бруннермейера [1] получен похожий результат для совершенного байесовского равновесия.

2.2. Единственность

Утверждение 2. Пусть выполнено неравенство $2e < \min\{\underline{\theta}; 1 - \bar{\theta}\}$, а также все игроки знают, что для каждого θ сигнал всякого спекулянта принадлежит промежутку $[\theta - e; \theta + e]$, однако каждый агент понимает, что его персональный сигнал распределен равномерно на этом промежутке, но не знает, как распределены сигналы других спекулянтов.

Тогда в случае как с конечным, так и с бесконечным числом агентов в рассматриваемой Игре при любой¹⁷ вере $p_i(\theta, \pi_i, \pi_{-i})$ каждого отдельного спекулянта i в падение цен на актив для состояния θ , имеющей не более чем счетное количество разрывов первого рода по переменной θ , не возрастающей по θ , не зависящей от сигнала агента i , равной 1, если $\theta \leq \underline{\theta}$, и принимающей значение 0, когда $\theta \geq \bar{\theta}$,

1) единственным равновесием Байеса — Нэша является то, в котором каждый спекулянт руководствуется чистой стратегией с пороговым сигналом, оно не является *ex post* равновесием;

2) существует такое θ^* , что если $\theta > \theta^*$, то в равновесии пузырь никогда не лопается, обратное неверно.

Доказательство. Можно понимать ожидаемую чистую выгоду агента i от решения «продавать» как функцию от увиденного им значения сигнала x , индивидуальной стратегии $\pi_i(x)$ и профиля стратегий остальных спекулянтов π_{-i} : $u_i(x, \pi_i, \pi_{-i})$.

То, что π_i равняется либо 1, либо 0, объясняется аналогично доказательству Утверждения 1. Предположим, спекулянт i увидел сигнал x , который принадлежит $[e; 1 - e]$ ¹⁸. В таком случае

$$u_i(x, 1, \pi_{-i}) = \left(\frac{S_i}{2e} \int_{x-e}^{x+e} (m - f(\theta)) p_i(\theta, \pi_{-i}) d\theta \right) - t. \quad (5)$$

Предположим, функция $p_i(\theta, \pi_{-i})$ непрерывна по θ . Тогда функция $u_i(x, 1, \pi_{-i})$ является непрерывной по x , потому что непрерывны функции под интегралом. Ввиду того, что $f(\theta)$ возрастает по θ , а $p_i(\theta, \pi_{-i})$ не убывает по θ , функция $u_i(x, 1, \pi_{-i})$ убывает по x , если $p_i(x + e, \pi_{-i})$ больше¹⁹ нуля:

$$\frac{du_i(x, 1, \pi_{-i})}{dx} = \frac{S_i}{2e} (f(x - e) p_i(x - e, \pi_{-i}) - f(x + e) p_i(x + e, \pi_{-i})) < 0. \quad (6)$$

¹⁷ То, что функция этой веры не убывает по π_i и возрастает по π_{-i} , заложено в условиях Игры.

¹⁸ В таком случае агент i знает, что каждый спекулянт получил сигнал из промежутка $[-e; 1 + e]$, поэтому посчитанные спекулянтом i вероятности действий других агентов не будут зависеть от сигнала, полученного агентом i .

¹⁹ В противном случае производная по сигналу функции ожидаемой чистой выгоды агента равна нулю в данном значении x .

Теперь предположим, что у функции $p_i(\theta, \pi_{-i})$ есть не более чем счетное количество разрывов первого рода по переменной θ . Можно заметить, что значение функции под интегралом в выражении (5) не превышает значение функции $m - f(\theta)$ в каждом θ . Ввиду того, что интеграл последней функции от $x - e$ до $x + e$ всегда конечен и положителен из-за свойств функции $f(\theta)$, функция $u_i(x, 1, \pi_{-i})$ принимает конечные значения при x из рассматриваемого сегмента. Интеграл из уравнения (5) всегда можно разбить на сумму интегралов точь-в-точь²⁰ — по значениям, в которых наблюдаются разрывы первого рода, задействовав все из них. В таком случае он равен сумме не более чем счетного количества определенных интегралов, одного интеграла, где $x - e$ задает нижний предел, и еще одного интеграла, в котором $x + e$ задает верхний предел. В силу того, что $u_i(x, 1, \pi_{-i})$ принимает конечные значения, а также из-за ограниченности всего промежутка интегрирования функция $u_i(x, 1, \pi_{-i})$ равна сумме константы, функции с производной по сигналу, равной $\frac{S_i}{2e} f(x - e) p_i(x - e, \pi_{-i})$, и еще одной функции, производная по сигналу которой есть $\left(-\frac{S_i}{2e} f(x + e) p_i(x + e, \pi_{-i}) \right)$. Таким образом, если считать производную всей функции $u_i(x, 1, \pi_{-i})$, то получится как раз выражение (6). Поэтому при не более чем счетном количестве разрывов первого рода по переменной θ функция $u_i(x, 1, \pi_{-i})$ убывает по x в данном значении x , если $p_i(x + e, \pi_{-i})$ больше нуля.

Условие $2e < \min\{\theta; 1 - \bar{\theta}\}$ позволяет определить знаки функции $u_i(x, 1, \pi_{-i})$ при значениях x , равных e и $1 - e$:

$$u_i(e, 1, \pi_{-i}) > 0, u_i(1 - e, 1, \pi_{-i}) < 0. \quad (7)$$

Дело в следующем. Если агент получает сигнал e , то он понимает, что реализовалось состояние цен, в котором обвал курса произойдет при любых действиях спекулянтов, т.е. решение «продавать» в таком случае всегда приносит положительную прибыль. Если агент получает сигнал $1 - e$, то он знает, что реализовалось состояние цен, в котором решение «продавать» всегда приносит отрицательную прибыль. Более того, по этим же причинам функция $u_i(x, 1, \pi_{-i})$ на сегменте $[-e; e]$ при-

²⁰ Таким образом, чтобы каждая из этих точек стала пределом интегрирования в двух соответствующих ее расположению в разбиении интегралах (в одном из них она верхний предел, в другом — нижний).

нимает только положительные значения, а на сегменте $[1 - e; 1 + e]$ — только отрицательные.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что функция $u_i(x, 1, \pi_{-i})$ либо равна нулю в единственном пороговом значении x (оно меньше $1 - e$, но больше e) и положительна слева от него, но отрицательна справа от этого порогового уровня, либо просто существует такое пороговое значение сигнала, что функция $u_i(x, 1, \pi_{-i})$ принимает положительные значения слева от него, а отрицательные — в противном случае. Для определенности обозначим пороговое значение сигнала как k .

Принимая во внимание наличие указанных промежутков знакоопределенности, можно заключить, что равновесие Байеса — Нэша, в котором стратегия спекулянта предписывает действие «продавать», если и только если значение сигнала меньше порогового уровня k , является единственным. Оно не является *ex post* равновесием, потому что существуют состояния цен, порождающие сигналы таким образом, что до их реализации неизвестно, какова доля атакующих агентов и лопнет ли пузырь. Следовательно, первый пункт доказан.

Справедливость второго пункта также вытекает из наличия состояний цен, для которых заранее неизвестно, какова доля информированных спекулянтов, продающих курс. Тем не менее очевидно, что при всех значениях θ , которые стоят справа от наибольшего из пороговых значений k на расстоянии, не меньшем e , в равновесии падение цен никогда не произойдет.

Из статьи Морриса и Шина [8] можно сделать вывод, что в подыгре агентов рассматриваемой ими модели смены режима с информационной структурой независимых сигналов существует единственное равновесие Байеса — Нэша из класса симметричных равновесий со стратегиями, предписывающими «атаковать» при значениях сигнала ниже некоторого граничного уровня. Поэтому интересно узнать, при каких условиях можно гарантировать в принципе единственное равновесие Байеса — Нэша в таких играх смены режима. Пример списка предположений можно найти в Утверждении 2. Примечательно, что имеет место так называемая условная «слабость» вер: при любых положительных значениях шума сигнала агента, удовлетворяющих некоторому техническому неравенству, какой бы ни была функция вер, изменение ее вида при условии выполнения предположений Утверждения 2 не может повлиять на факт единственности равновесия Байеса — Нэша.

3. Предположение о «сегментах определенности»

Утверждение 3. Если в рассматриваемой Игре, но с информационной структурой, в которой для каждого конкретного θ доля агентов, продающих актив, задается однозначно²¹, предложить модифицировать θ и $a(\theta)$ так²², что $\forall \theta \ 0 < \underline{a} \leq a(\theta) \leq \bar{a} < 1$ и $\forall \theta \ m - f(\theta) - t > 0$, тогда при сохранении всех других, не противоречащих этим, условий рассматриваемой Игры

1) единственность равновесной симметричной стратегии спекулянта меняется на множественность, примерами симметричных равновесных стратегий являются «продавать при любом сигнале» и «отказаться от короткой продажи при любом сигнале»;

2) равновесия с симметричными стратегиями «продавать при любом сигнале» и «отказаться от короткой продажи при любом сигнале» являются ex post равновесиями.

Доказательство. Если $\forall \theta \ 0 < \underline{a} \leq a(\theta) \leq \bar{a} < 1$ и $\forall \theta \ m - f(\theta) - t > 0$, то на сегментах $[0; \underline{\theta}]$, $[\bar{\theta}; 1]$ значений состояния цен исчезает предопределенность относительно того, лопнет пузырь или нет. Из-за нее существовали такие значения сигналов, при которых у каждого агента возникало строго доминирующее действие, его было выгодно выбирать вне зависимости от действий остальных спекулянтов.

Предположим, что все агенты руководствуются стратегией, предписывающей «продавать» при любых значениях полученного сигнала. Таким образом, в любом состоянии цен доля атакующих спекулянтов равна 1, поэтому ее всегда достаточно, чтобы пузырь лопнул. Ввиду того, что $m - f(\theta) - t > 0$, нет таких значений θ , при которых падение цены было бы менее выгодным для атакующего, чем решение «отказаться от короткой продажи». Поэтому ни одному агенту не выгодно в одиночку отклоняться от этой стратегии.

²¹ Примером может служить информационная структура, в которой реализовавшееся состояние экономики θ порождает сигналы спекулянтов так, что каждый возможный сигнал получает только один агент. Кроме того, каждый раз реализуются все возможные сигналы, нет двух разных спекулянтов, которые видят одно и то же его проявление, при условии реализации θ каждый агент может равновероятно получить любое проявление сигнала из отрезка $[\theta - \varepsilon; \theta + \varepsilon]$. В этом примере сигналы агентов не являются независимыми.

²² Если говорить о состоянии цен, то подойдет формула: $\theta = \frac{f - m + B}{B - \varepsilon - t}$, $B > 0, \varepsilon > 0$.

Пусть каждый спекулянт руководствуется стратегией, предписывающей «отказаться от короткой продажи» при любой реализации сигнала. В таком случае доля агентов, продающих актив, равна 0, и если какой-то отдельный спекулянт захочет отклониться в одиночку, то его вклад в атаку будет настолько маленьким, что долю спекулянтов, атакующих цену теперь, можно также считать равной 0, чего никогда не хватит, чтобы пузырь лопнул. Ни одному агенту не выгодно в одиночку отклоняться от этой стратегии, поскольку такое отклонение приносит отрицательную чистую выгоду взамен нулевой. Этим исчерпывается доказательство первого пункта.

Оба равновесия являются не просто равновесиями Байеса — Нэша, но еще и *ex post* равновесиями. Если бы в равновесии, где все всегда «продают», какой-нибудь агент увидел еще и проявления сигналов всех остальных спекулянтов, он не отклонился бы от стратегии, предписывающей «продавать» при любом x , в одиночку. Такой агент предполагает, что все остальные будут действовать по такой же стратегии, что и он, поэтому отклонение означало бы отказ от получения положительной чистой выгоды. Если бы в равновесии с симметричными стратегиями, каждая из которых предписывает агенту «отказаться от короткой продажи» при любых проявлениях собственного сигнала, какой-нибудь спекулянт увидел еще и проявления сигналов всех остальных спекулянтов, то он не отклонился бы от стратегии, предписывающей «отказаться от короткой продажи» при любом x , в одиночку. Это объясняется тем, что подобное решение агент ассоциировал бы с получением отрицательной чистой выгоды взамен нулевой.

Как видно, факт существования единственного равновесия пропадает при исчезновении «промежутков определенности», поэтому наличие таких сегментов в данной модели является необходимым условием единственности равновесия Байеса — Нэша.

Интересно заметить, что отброс сегментов значений состояний цен, на которых существовали доминируемые действия, привел к тому, что в условиях глобальной игры в равновесии агенты знают, что делают остальные.

Утверждение 4. *В рассматриваемой Игре с континуумом спекулянтов при выполнении предположений Утверждения 3 существуют стратегии, не являющиеся равновесными, но если все спекулянты следуют этим стратегиям, то пузырь лопается при любом состоянии экономики и каждый агент получает положительную прибыль от атаки.*

Доказательство. Речь идет о стратегии, предписывающей «продавать», если и только если значение сигнала меньше порогового уровня k , который принадлежит полуинтервалу $[2e\bar{a} + 1 - e; 1 + e)$. Если все агенты придерживаются какой-то одной и той же стратегии этого вида, то пузырь лопается при любом состоянии экономики. В таком случае верно следующее:

$$\forall \theta \quad k \geq 2e\bar{a} + 1 - e \geq 2ea(\theta) + \theta - e. \quad (8)$$

Поэтому

$$k \geq 2e\bar{a} + 1 - e \Rightarrow \forall \theta \quad \frac{k - \theta + e}{2e} \geq a(\theta). \quad (9)$$

Иначе говоря, доли спекулянтов, продающих актив, будет всегда достаточно, чтобы обвалить курс. Более того, из предыдущего доказательства ясно, что в рассматриваемой Игре при выполнении условий Утверждения 4 любое благоприятное для спекулянта падение цены приносит каждому агенту, продающему актив, только положительную прибыль. Тем не менее каждому спекулянту выгодно отклониться в одиночку и начать использовать стратегию, предписывающую «продавать» при любых значениях сигнала, поскольку в такой ситуации он захочет воспользоваться всеми безрисковыми возможностями получения положительной прибыли от атаки, которых в случае стратегии, предписывающей «продавать» при любых значениях сигнала, больше. Следует заметить, что ввиду условий Игры всегда существует такая эpsilon-окрестность состояния цены θ , равного единице, в которой отображение $a(\theta)$ непрерывно и является возрастающей функцией. Поэтому в Игре при выполнении условий Утверждения 4 стратегии, предписывающие «продавать», если и только если значение сигнала меньше порогового уровня k , который принадлежит промежутку $[2e\bar{a} + 1 - e; 1 + e]$, исчерпывают множество чистых стратегий с пороговым сигналом, следование которым приводит к падению цены при всех возможных значениях θ .

Заключение

В рамках данного исследования построена теоретико-игровая модель, показывающая, что экономический пузырь может лопнуть из-за стремления спекулянтов заработать на обвале цен с помощью корот-

ких продаж. Используется игра смены режима, похожая на модель самосбывающегося валютного кризиса, изложенную, например, в статье Морриса и Шина [8].

В работе доказывается, что в рассматриваемой модели при любом равновесии Байеса — Нэша стратегия агента всегда представляет собой функцию, которая каждой реализации сигнала ставит в соответствие либо действие «продавать единицу актива», либо действие «отказаться от короткой продажи».

Достаточные условия для единственности равновесия Байеса — Нэша получены при рассмотрении ситуации, когда всякий игрок знает, что при каждом состоянии цен сигнал всякого агента принадлежит одному и тому же известному промежутку, однако каждый спекулянт понимает, что его персональный сигнал распределен равномерно на этом промежутке, но не знает, как на нем распределены сигналы других агентов. В таком случае для всякого спекулянта предполагается существование функции веры в исчезновение пузыря в каждом конкретном состоянии цен. Данная функция не зависит от сигнала этого агента, не возрастает по состоянию цен, имеет не более чем счетное количество разрывов по этой переменной, а также учитывает знание того, что для известных сегментов состояния цен наличие или исчезновение пузыря предопределено. Получается, что в рамках этих предположений при любых положительных значениях шума сигнала агента, удовлетворяющих некоторому техническому условию, вне зависимости от того, чему равны веры в падение цен, существует единственное равновесие Байеса — Нэша; в нем спекулянт продает единицу актива, если и только если сигнал меньше порогового уровня, который может и не быть одинаковым для всех агентов. При этом пузырь никогда не лопается, если показатель состояния цен больше некоторого порогового значения, обратное неверно.

Если в рассматриваемой модели отбросить сегменты состояния цен, для которых заранее известно, произойдет взрыв пузыря или нет, то единственность равновесной симметричной стратегии спекулянтов меняется на множественность. Поэтому наличие таких сегментов в данной модели является необходимым условием единственности равновесия Байеса — Нэша.

В ходе дальнейших исследований может быть предпринята попытка определения классов информационных структур, которые приводят к единственности или множественности исходов равновесий.

Источники

1. *Abreu D., Brunnermeier M.K.* Bubbles and Crashes // *Econometrica*. 2003. Vol. 71. No. 1. P. 173–204.
2. *Carlsson H., van Damme E.* Global Games and Equilibrium Selection // *Econometrica*. 1993. Vol. 61. P. 989–1018.
3. *Hirota S. Sunder S.* Price bubbles sans dividend anchors: Evidence from Laboratory Stock Markets // *Journal of Economic Dynamics & Control*. 2007. Vol. 31. P. 1875–1909.
4. *Hommes C., Sonnemans J., Tuinstra J., van de Velden H.* Expectations and Bubbles in Asset Pricing Experiments // *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2008. Vol. 67. No. 1. P. 116–133.
5. *Izmalkov S., Yildiz M.* Investor Sentiments. Working paper. CEFIR. 2009.
6. *Morris S., Shin H.S.* Unique Equilibrium in a Model of Self-Fulfilling Currency Attacks. *American Economic Review*. 1998. Vol. 88. P. 587–597.
7. *Morris S., Shin H.S.* Global Games: Theory and Applications. Cowles Foundation Discussion paper No. 1275R. 2001.
8. *Morris S., Shin H.S.* Common Belief Foundation of Global Games. Working paper. 2007.
9. *Obstfeld M.* Models of Currency Crises with Self-Fulfilling Features. *European Economic Review*. 1996. Vol. 40. P. 1037–1047.
10. *Shiller R.J.* Speculative Prices and Popular Models // *Journal of Economic Perspectives*. 1990. Vol. 4. No. 2. P. 55–65.

© Николаенко Д.Н., 2012

Р.А. Садыков

Научный
руководитель —
П.В. Романов

Кафедра
социально-
экономических систем
и социальной политики

Социальное положение и профессионализация врачей альтернативной медицины: аналитические перспективы

В статье представлен краткий обзор вопросов, связанных с социологическим изучением социально-профессиональной группы врачей альтернативной медицины. Рассматриваются факторы роста потребительского интереса к практикам альтернативного лечения, проблемы интеграции альтернативной медицины и биомедицины. Обсуждаются аналитические подходы в изучении профессионализации группы врачей альтернативной медицины.

Большинство зарубежных авторов отмечают, что возрастание общественного и научного интереса к альтернативной медицине связано с ростом сектора услуг альтернативной медицины, интеграцией ряда ее направлений в мейнстримную отрасль медицины (на фоне общей либерализации общественных институтов) и не в последнюю очередь — с повсеместной критикой сложившихся в индустриальном мире форм социальной помощи, обнаживших недостатки современной медицины [36]. Некоторые ученые свидетельствуют о возникновении ятрогении — заболеваний, обусловленных медицинским вмешательством или даже неосторожными высказываниями или поступками врача, неблагоприятно воздействующими на психику пациента [15; 20]. В контексте развития постмодернистских течений в социальной науке эта критика получила широкое распространение как отдельное направление общей критики рационалистической парадигмы современного общества.

Возрастание интереса к альтернативной медицине в России авторы исследовательского проекта «Динамика социального и профессионального статуса специалистов традиционной медицины в Рос-

сии» объясняют в рамках концепции медицинской диссидентской культуры, понимаемой ими в качестве идеологической оппозиции господствующей медицинской системе. Эта концепция применима и для оценки ситуации в России 1980-х гг. Исследователи отмечают, что альтернативная медицина гармонично вписалась в запрос на новые ценности, который возник в результате внедрения идеологии рыночной экономики и усиления либерально-демократических настроений [15; 23]. Индикаторами данного тренда являются рост продаж альтернативных лекарственных препаратов; возросший спрос на альтернативные услуги; популярность целительства и натуропатии; возникновение групп самопомощи [17].

В первой половине 1990-х гг. в связи с развитием рынка в российском здравоохранении сложились условия для профессионализации врачей альтернативной медицины и выделения их в социально-профессиональную группу. В советский период этому препятствовали высокий статус биомедицины, поддерживаемой государством, и относительно невысокий спрос на услуги альтернативной медицины.

В отчете Фонда «Общественное мнение», посвященном результатам опроса россиян с целью изучения их мнения в отношении традиционной и нетрадиционной медицины, говорится, что к ее услугам обращался каждый четвертый россиянин [7]. Результаты данного исследования указывают также на относительно высокий процент молодежи, имеющей опыт взаимоотношений с альтернативной медициной, из чего, по мнению социологов ФОМ, следует вывод о возрастании тенденции обращения к услугам неортодоксальной медицины. На Западе, где традиционная биомедицина столетиями доминировала, отмечается высокий спрос на услуги такого рода: в США ими пользуются 69% граждан, во Франции — до 49% и в Голландии до 20% [14].

Как правило, под альтернативной медициной понимают различные практики диагностики, предупреждения и лечения болезней человека, отличные от привычных терапевтических методов фармакотерапии и хирургии, регулируемые или отчасти регулируемые либо нерегулируемые государством. В большинстве стран существуют символические и институциональные различия между конвенциональной/регулярной/научной/биомедициной, с одной стороны, и не конвенциональной/непризнанной/альтернативной/холистической медициной — с другой [38]. К наиболее распространенным видам альтернативной медицины относятся физиотерапия, гомеопатия, фитотерапия, акупункту-

ра, мануальная терапия, гирудотерапия, аюрведа, су-джок, различные формы натуропатии и целительства.

Отечественной научной риторике свойственно противопоставление конвенциональной (официальной, или ортодоксальной) и альтернативной медицины (во всяком случае, большинству ее направлений), тогда как на Западе широко признается комплементарный (дополняющий) характер альтернативной медицины, что отражено в термине «complementary and alternative medicine» (СAМ). Хотя в России официально используется термин «традиционная медицина», на наш взгляд, предпочтительнее использовать западное обозначение этого явления. Как отмечает Е. Ярская-Смирнова, определение традиционной медицины по-прежнему остается идеологически окрашенным, так как опирается на дихотомию «научно обоснованная» ортодоксальная медицина и «ненаучная» неортодоксальная медицина» [15].

Интерес к практикам САМ проявился в увеличении числа соответствующих научных публикаций. Основываясь на данных собственного исследования, Дженни-Энн и Рикард Дэнелл отмечают стремительный рост публицистической активности в области изучения САМ во второй половине 1990-х гг. [21, р. 543]: общее число публикаций данного направления в 1996 г. составило около 1300, а в 2004 г. этот показатель уже насчитывал 4500 работ, опубликованных в течение года¹. При этом авторы показывают, что изменение темпов роста публицистической активности никак не связано с общим расширением Medline — базы данных, опубликованной в мире медицинской информации, на основе которой проводилось вышеупомянутое исследование.

Сегодня все большее число работ фокусируется на изучении широкого круга вопросов, связанных с функционированием сферы альтернативной медицины. В центре внимания ученых — социологов, антропологов, этнографов — оказываются проблемы статуса альтернативной медицины в системе здравоохранения, валидности и безопасности ее методов лечения. Все более тщательному анализу подвергаются процессы профессионализации и функционирования группы специалистов альтернативной медицины, а также особенности их взаимоотношений с сообществом врачей-ортодоксов.

¹ Библиографическое исследование Дженни-Энн Бродин Дэнелл и Рикарда Дэ-нелла проводилось на основе базы данных, опубликованной в мире медицинской информации Medline, и охватывало период с 1966 по 2007 г.

Направления социальных исследований варьируются в зависимости от роли и места в конкретном исследовании трех основных акторов альтернативной медицины: пользователей данных услуг, практиков альтернативной медицины и врачей-ортодоксов в контексте их отношений с САМ.

Изучая факторы спроса на альтернативную медицину, ученые обращаются к рассмотрению мотиваций потребителей. Одной из причин высокого спроса на практики альтернативной медицины является неудовлетворенность части населения результатами ортодоксальной медицины. Утверждается, что конвенциональная медицина не в состоянии излечивать дегенеративные и хронические заболевания и мало что может предложить для утоления болей при артрите, ревматизме, шейных повреждениях и травмах спины [37].

Отмечается также, что люди используют альтернативную медицину, потому что они не удовлетворены объемом времени, которое им отводится на приеме у врача, в результате многие пациенты часто не информированы о природе их заболевания, диагнозе и прогнозе лечения. Этим подтверждается тезис об утрате профессией врача человеческих характеристик, что, в свою очередь, позволяет некоторым авторам характеризовать современную медицину как фордистскую, продуцирующую отчужденных и неудовлетворенных пациентов [47, р. 160]. Привлекает к альтернативной медицине и то, что врачи этого направления обычно применяют натуральное и неинвазивное лечение, придерживаются холистического видения в охране здоровья и подчеркивают необходимость участия пациента в процессе лечения.

Наконец, возросший потребительский интерес можно объяснить и тем, что комплементарная и альтернативная медицина удовлетворяет экзистенциальным потребностям людей и обеспечивает им полную психологическую поддержку в процессе лечения. В этом смысле религиозные и философские основания некоторых направлений врачевания (например, индийская аюрведа, различные вариации китайской народной медицины) приобретают важное значение для излечения пациента. М. Сяхпаш приводит мнение М. Котова, который считает, что люди выбирают альтернативную медицину во многом потому, что она обеспечивает им чувство «экзистенциальной защиты», утрачиваемое в условиях кризиса институтов религии и семьи в современных обществах [Ibid., p. 162].

Отношение к САМ на протяжении долгой истории варьировалось от полного неприятия до молчаливого признания и включения неко-

торых ее видов (рефлексотерапия, мануальная терапия) в биомедицинскую модель. Важно учитывать межстрановые показатели уровня интеграции для каждой модальности комплементарной и альтернативной медицины. Например, начиная с 1962 г. аюрведа официально признана в Индии, но считается альтернативной в странах Запада [21, р. 542]. Хотя в большинстве стран, таких как Китай, Франция, Великобритания, Германия, Индия и Швеция, сосуществование разных медицинских парадигм является нормой, статус САМ в целом остается достаточно маргинализированным относительно общепризнанной биомедицинской модели [19, р. 14]. Различные дискуссии и концептуализации включения комплементарной и альтернативной медицины в мейнстрим (mainstream inclusion of CAM) в целом вписываются в одну из трех концептуальных схем, обозначаемых как инкорпорация, интеграция и плюрализация [48, р. 328–329]. Инкорпорацией называют селективный отбор приемов и техник, применяемых в альтернативной медицине, и включение их в биомедицинскую модель лечения. Интеграция подразумевает иной уровень взаимодействия и означает включение практик альтернативной медицины в корпус биомедицины. Третий вариант — плюрализация — это автономное сосуществование различных медицинских парадигм, когда пациент самостоятельно осуществляет выбор, где и у кого он будет проходить лечение.

В представлениях большинства исследователей единственно возможный путь интеграции САМ в систему конвенциональной медицины проходит через дальнейшую профессионализацию врачей, практикующих альтернативные методы лечения болезней.

С начала 1990-х гг. в проблематику изучения социально-профессиональных групп в России входят вопросы адаптации различных профессиональных групп в рыночных условиях, вопросы профессионализации и депрофессионализации, социокультурная специфика функционирования социально-профессиональных групп в контексте интеграции мировых систем. В связи с этим наиболее значимыми представляются работы В.А. Мансурова, О.В. Юрченко, П.В. Романова, Е.Р. Ярской-Смирновой, Е.П. Сало, Р.Н. Абрамова, Т.А. Самарской, Г.А. Тепер [1; 4; 7; 10; 13]. В основном все эти исследования опираются на теоретико-методологические разработки западных авторов в рамках социологии профессий.

Социология профессий как отрасль социологического знания в нашей стране оформилась сравнительно недавно. На Западе данная дисциплина развивалась преимущественно в рамках трех методологи-

ческих традиций: функционалистской, неомарксистской и неовеберинской. В основе функционального анализа профессий лежит утверждение Т. Парсонса о том, что важные черты современного общества в значительной степени связаны с выполнением профессионалами своих функций [44, р. 35]. Вслед за Т. Парсонсом сторонники функционалистского подхода полагают, что профессиональные группы характеризуются важной общественной ролью, связанной с минимизацией социального конфликта и дезинтеграции [10, с. 26]. Приверженцы этого направления характеризуются с помощью атрибутивного подхода в социологии профессий, или «теории черт» (Э. Гринвуд, А. Флекснер, Г. Миллерсон) [30; 42]. Авторы данного направления использовали полученный набор профессиональных критериев для создания «идеального типа» профессии. Так, среди наиболее важных черт профессионалов функционалисты называют обладание специальными знаниями и навыками, высокий уровень профессиональной автономии, наличие особого этического кода, альтруизм. В целом исследования функционалистов в области социологии профессий сводились, главным образом, к попыткам построения различного рода классификаций.

Сторонники неомарксистского подхода (Дж. Маккинли, Дж. Арчес, М. Ларсон, Г. Браверман, М. Буравой, Д. Коберн) уделяют основное внимание процессам депрофессионализации и пролетаризации, рассматриваемым ими с позиции теории социального отчуждения [20; 22; 26; 39; 41].

Э. Фрейдсон, интерпретируя марксистский взгляд на профессии, указывает, что понятие депрофессионализации основывается на предположении, что профессии являются ясно отличимыми от других занятий. Данный концепт предполагает продолжающуюся поступательную утрату профессиями специальных характеристик до тех пор, пока они попросту не станут техническими специальностями. Объяснение этому лежит в утрате профессиями своих отличительных атрибутов. Как следует из теории депрофессионализации, особое место публичного уважения и доверия постепенно утрачивается; в связи с возрастанием уровня образования населения и степени доступности профессиональных знаний уменьшается так называемый компетентностный разрыв (*competence gap*) между профессионалами и остальным населением. Кроме того, как утверждают защитники депрофессионализации, многие традиционные профессиональные услуги посредством стандартизации и компьютеризации настолько упростились и рутинизировались, что даже непрофессионал способен их выполнять (Г. Бра-

верман). Наконец, все больше и больше профессионалов нанимается в крупные организации, где их положение становится более уязвимым со стороны бюрократического контроля, чем при самозанятости [28, р. 282]. В России частная практика врачей альтернативной медицины во многих случаях выступает в качестве дополнительного занятия (помимо основного в государственных клиниках [13, с. 145]), при этом общее число частнопрактикующих врачей в стране в ходе экономических и политических реформ 1990-х гг. увеличилось [17].

Констатируя снижение уровня медицинской власти в последние десятилетия, Дэвид Коберн совместно с Сьюзан Рапполт и Ивом Буржо утверждают, что пролетаризация имеет отношение к тому, что медицина теряет контроль над контекстом и содержанием медицинской помощи вследствие бюрократизации и корпоратизации здравоохранения [27, р. 2]. В результате, как отмечает М. Ларсон, врачи испытывают все возрастающее экономическое, организационное и техническое отчуждение от результатов своего труда [39].

По словам Э. Фрейдсона, в основании тезиса о пролетаризации лежит понятие контроля: рабочие теряют контроль над сроками, условиями, содержанием и целями своей деятельности, и этот контроль переходит к капиталу или его агентам в форме менеджмента. Пролетаризация профессионалов приводит к падению профессиональной автономии. Защитники концепции пролетаризации указывают на то, что профессионалы, которые исторически отличались по статусу от промышленных рабочих, сегодня приходят к тому же положению зависимости от капитала [28, р. 283].

Сам Э. Фрейдсон не был сторонником марксистского взгляда на профессии. Анализируя теории профессионализации и депрофессионализации, он пришел к противоположной точке зрения, согласно которой медицина продолжает удерживать контроль. Введенный Фрейдсоном концепт медицинского господства соответствует неовеберианскому направлению анализа профессий.

Как отмечают британские социологи М. Сакс и Дж. Олсоп, неовеберианский подход с методологической точки зрения обладает наибольшими аналитическими преимуществами для макросоциологического изучения профессиональных групп в сфере медицины и социального обеспечения. На сегодняшний день его можно считать ортодоксальной методологией англо-американской социологии профессий. Последние определяются в нем как группы, занимающие монополистическую позицию на рынке тех или иных услуг [11].

НеоВебериа́нский анализ выдвигает на первый план задачу описания мобильности профессиональных групп в терминах концепции социального закрытия. Концепт социального закрытия впервые был представлен в работах Макса Вебера и отвечал на вопрос о том, как социальные группы достигают определенных привилегий в обществе и в дальнейшем поддерживают завоеванное положение. В определении Р. Мёрфи закрытие представляет собой процесс субординации, посредством которого одна группа блокирует доступ к ее монополизированным преимуществам со стороны других внешних по отношению к ней групп [43, p. 8].

По словам Е. Сало, стремящиеся к профессионализации группы должны овладеть механизмом социального закрытия, которое в современном обществе невозможно без заключения «регулятивной сделки» с государством, санкционирующим ограничение доступа в группу посредством передачи самим профессионалам права контролировать процесс распространения экспертного знания, а также права монополизировать рынок услуг — назначать цены, устанавливать стандарты.

Как отмечает М. Сакс, неоВебериа́нский подход кажется в большей степени применимым к таким профессиональным занятиям, как медицина. По его словам, в России с развитием свободного рынка в результате политического отказа от социалистического государства, в котором не было прочного правового разделения профессий и других профессиональных групп, появилась перспектива анализа профессий в рамках неоВебериа́нской традиции [45, p. 4]. Необходимо также назвать две значимые для анализа профессий исследовательские традиции, имеющие французские корни. Речь идет о Фукольдиа́нском и бурдьевистском подходах.

Исследования М. Фуко, основанные на археологии знания, внесли свой вклад в критический подход к профессиональным группам. Фуко поставил под сомнение рациональность научного прогресса, которого достигли профессии, особенно в сфере здравоохранения и социального обеспечения. Для этого он предпринял попытку раскрыть дисциплинарный характер различных социальных институтов, таких как школа, тюрьма и больница [11]. Дискурс, в определении Фуко, является средством власти [16]. Именно преобладание биомедицинского дискурса является основным препятствием на пути легитимации практик комплементарной и альтернативной медицины.

По оценке М. Сакса, эвристичным в подходе М. Фуко можно считать расставленные им акценты на ограниченности научного про-

гресса, достигнутого профессиональными группами. Однако эмпирическая база, которая подтверждает его научные изыскания, крайне ограничена. М. Фуко неоднократно критиковали за вольное обращение с фактами: выведение общих закономерностей из частных примеров и использование необоснованных исторических экстраполяций [45, р. 4].

Е. Сало на основе концепции социального пространства П. Бурдьё выделяет три вида капитала, характерные для профессиональных групп, в частности медиков альтернативной медицины, — властный, культурный и экономический [12]. Социальная позиция группы есть производная от уровня согласованности/рассогласованности капиталов (экономического, культурного или символического), которыми она обладает. Как пишет сам П. Бурдьё, «форма, которую совокупность распределения различных видов капитала (инкорпорированного или материализованного) принимает в каждый момент времени в каждом поле, будучи средством присвоения объективированного продукта, аккумулярованного социального труда, определяет состояние отношений силы между агентами» [2, с. 17]. Е. Сало показывает, что влияние на формирование социального статуса профессиональной группы специалистов традиционной медицины таких акторов, как государство, рынок, образовательная система и потребитель, выражается через набор показателей во властном, экономическом и культурном измерениях [12]. Нельзя не отметить попытки К. Фрайеса применить бурдьёвистский рефлексивный анализ в обосновании эффективно сочетания в рамках исследования альтернативной медицины двух методологических парадигм — качественной и количественной [29, р. 348].

Концепт рефлексивности используют С. Кант и У. Шарма в своем исследовании трех групп комплементарных терапевтов — рефлексотерапевтов, гомеопатов, костоправов (мануалистов) [24]. В обоих случаях авторы вслед за Бурдьё указывают на особую роль исследователя в производстве знания об исследуемом объекте. В рамках такого подхода утверждается, что социальным ученым нужно избегать эпистемологических ошибок, связанных с некритическим принятием слов и выражений, используемых людьми в социальном мире. Принцип участвующей объективации (*participant objectivation*) показывает, что научные инструменты, которыми пользуются социальные ученые (ярлыки, схемы кодирования, статистические категории, типологии), сами являются продуктами особых социальных отношений. Постулируемая

П. Бурдые рефлексивная социальная наука непрерывно отслеживает эти отношения, обращается к вопросу о том, как эти научные инструменты конституируют объект исследования в качестве познаваемого и как он может быть познан иначе [29].

Другой эпистемологический срез в изучении практик альтернативной медицины представлен Д. Холленбергом и Л. Маззин [35]. Эти авторы предлагают собственную методологическую схему анализа интеграции альтернативной медицины, обозначаемую ими как антиколониальный подход. Следуя данному подходу, авторы рассматривают биомедицину как ветвь «евронауки» — парадигмы, которая в течение долгой истории присваивала и ассимилировала знания «туземных лекарей». Проникновение альтернативных практик врачевания — во многом результат колониальной политики ведущих европейских стран. Становится ясно, почему большое количество исследований комплементарной и альтернативной медицины построено на англо-американском, австралийском и (или) новозеландском материале, т.е. материале стран с колониальным прошлым.

По словам отечественных ученых, эмпирические исследования подтверждают, что западные теоретические схемы могут эффективно применяться в контексте российской действительности, если во внимание принимаются социально-структурная и историческая специфика нашего общества (В. Мансуров, О. Юрченко, П. Романов, Е. Ярская-Смирнова). Использование категориального аппарата западной социологии профессий позволяет существенно расширить эвристические возможности исследований профессиональных групп, а также раскрывает новые возможности для межкультурного сравнительного анализа [5; 10].

Врачи альтернативной медицины представляют собой социально-профессиональную группу, отличающуюся в статусном отношении от медиков ортодоксальной медицины. Особенности идентификации данной группы связаны в первую очередь со спецификой профессиональной деятельности. В отличие от узких специалистов больничных и амбулаторно-поликлинических учреждений, некоторые исследователи полагают, что специалисты в области альтернативной медицины чаще подходят к лечению пациента индивидуально и комплексно, рассматривая человеческий организм как систему [8].

Современное понимание профессионализма основывается на концепции «профессионального проекта», суть которого состоит в определении группой собственной сферы знания; формировании

групповой идеологии, ее публичного образа; создании профессиональной организации; поддержании социального закрытия группы и контроля реализации «профессионального проекта». Формализация и стандартизация специального знания является важным шагом в процессе профессионализации. Как указывают Дэвид Кларк с соавторами, экспертному знанию как источнику авторитета, законности и статуса отводится особое место в большинстве работ по профессионализации [25, р. 331]. Вслед за Фрейдсоном Тёрнер указывает на то, что господство профессии обеспечивается через производство и поддержание набора эзотерических знаний, что, в свою очередь, требует расширительной интерпретации и изучения их применения [34, р. 740]. С. Кант и У. Шарма в своем исследовании британских гомеопатов также выделяют особую роль формализованного знания в достижении профессионального статуса [23].

Таким образом, сегодня теоретическое абстрактное знание является ключевой светской формой ритуала, которая легко трансформируется в статусные почести, при этом знание становится все более доступным в связи с распространением массового высшего образования [13].

При этом, как отмечает Дэвид Хесс, специфическое профессиональное знание часто выступает препятствием на пути интеграции комплементарной и альтернативной медицины. Обычно врачам, практикующим эту медицину, чтобы отстоять правомерность своих методов лечения, приходится отходить от «незападных» теоретических рамок и реинтерпретировать свои методы в терминах общепринятого биомедицинского и психологического знания [32]. В связи с этим многие альтернативные врачи защищают идею «альтернативной рациональности», отстаивают особенность и исключительность применяемых ими инструментов диагностики и способов лечения [33]. В то же время биомедицина зачастую ссылается на эти мистические знания «ненаучной» медицины для поддержания собственных границ [34].

Легитимация специализированного знания обеспечивается путем лицензирования, осуществляемого авторитетным профессиональным сообществом самостоятельно либо посредством государственного контроля. Лицензирование также является важным фактором доступа в группу. Сертификационные комиссии чаще всего заполнены членами профессиональной группы или людьми, одобренными профессией. Таким образом, получается, что регулирование деятельности группы осуществляется самой профессиональной группой.

Профессиональные ассоциации учреждают формальный и неформальный контроль за деятельностью членов группы с целью защищать пациентов от врачебных ошибок. Как указывают В. Мансуров и О. Юрченко, ссылаясь на К. Макдональда, профессиональные ассоциации обладают высоким контролем над созданием и распространением экспертного знания, что позволяет им вести наблюдение за «производством производителей» [40]. Традиционно высокостатусные западные профессиональные группы самостоятельно определяют, содержание вступительных и выпускных экзаменов, сроки, условия и цели обучения, допустимое количество «новобранцев» [3, с. 68]. При этом важно отметить, что на практике в государственных учреждениях профессионалы контролируют образовательный процесс совместно с государством.

Наличие ассоциации позволяет группе рассчитывать на большую автономию и самоуправление. Однако в России существуют законодательные ограничения функционирования ассоциаций врачей ввиду тотальной подотчетности и подконтрольности Министерству здравоохранения [8]. Поэтому роль ассоциаций в нашей стране преимущественно сводится к выполнению совещательных и рекомендательных функций.

В контексте рассмотрения профессионализации группы необходимо учитывать преобладание в каждом отдельном случае той или иной формы занятости. Часто альтернативная медицина не является основным занятием врачей и относится к вторичной (дополнительной) занятости. Это широко распространено в государственных медицинских учреждениях, где практики альтернативной медицины недостаточно укоренены и представляют собой дополнительное (факультативное) лечение. Т. Заславская утверждает, что сращивание частного бизнеса с работой по найму в государственном секторе является особенностью постсоциалистических стран [3, с. 75]. Если практика альтернативного лечения выступает в качестве основного занятия, то можно столкнуться с занятостью на неполный рабочий день, нефиксированным графиком работы и иногда временной занятостью, когда деятельность в рамках альтернативной медицины носит несистемный характер [15, с. 121–122].

Занятость в том или иной форме можно расценивать как определенный способ адаптации к условиям среды. Для многих врачей обращение к альтернативной медицине являлось частичной (если не основной) индивидуальной стратегией адаптации в ситуации рын-

ка, или, иначе, попыткой выживания в условиях экономического и структурного кризиса бюджетных отраслей, в частности и здравоохранения. Используя типологизацию способов социальной адаптации Р.К. Мертона, можно сказать, что для представителей альтернативной медицины в целом характерен инновационный тип приспособления к социальным условиям, основывающийся на принятии разделяемых широкой общественностью культурных целей и использовании неинституциональных средств для их достижения [6].

Низкий уровень институционализации альтернативной медицины в нашей стране определяет инклюзивные стратегии взаимодействия группы врачей комплементарной и альтернативной медицины. Как показывают результаты исследований, проведенных в ряде регионов России, медики альтернативной медицины в большей степени проявляют готовность к межпрофессиональному взаимодействию [15]. Напротив, медики, представляющие ортодоксальные методы лечения, в целом ориентированы на стратегию социального закрытия (профессиональной эксклюзии) и сохранения профессиональной монополии.

Занятость многих врачей альтернативной медицины в частной практике отчасти связана с тем, что далеко не все виды такой терапии официально признаны медицинским сообществом. Гибкий профессиональный поход, позволяющий учитывать индивидуальные особенности пациента, вместе с гибкостью занятости, являющейся наиболее адекватной логике рынка, обеспечивают наиболее автономным в своей деятельности представителям комплементарной и альтернативной медицины достаточно прочные позиции в конкурентной борьбе за перераспределение профессиональной власти внутри сообщества профессиональных врачей. Однако при этом нельзя не отметить прекаризационные аспекты занятости врачей альтернативной медицины, связанные в первую очередь с нестандартностью и нестабильностью деятельности последних [Там же]. Прекаризация труда и занятости представителей альтернативной медицины может выступать одновременно как следствие и фактор их слабо институционализированного положения в социально-профессиональной структуре общества.

На сегодняшний день сфера социальных исследований комплементарной и альтернативной медицины включает многочисленные вопросы, связанные с определением ее статуса в системе здравоохранения. Между тем отсутствует единая перспектива анализа социально-профессиональной группы врачей альтернативной медицины, что

говорит о многоаспектности изучаемого феномена. Перспективы изучения данной группы во многом связаны с дальнейшим включением западных теоретических схем анализа в исследование профессиональных групп в российских условиях. В фокусе внимания ученых находятся проблемы интеграции альтернативной медицины и биомедицины, в то время как вопросы, связанные с условиями и характеристиками трудовых отношений данной группы, практически остаются без внимания.

Источники

1. *Абрамов Р.Н.* Социологические интерпретации профессий Р. Дингуэлла: к пониманию англосаксонской традиции исследования занятий // Профессиональные группы: динамика и трансформация. М.: Изд-во ИС РАН, 2009.
2. *Бурдые П.* Социология социального пространства / пер. с франц.; отв. ред. перевода Н.А. Шматко. М.: Институт экспериментальной социологии; СПб.: Алетейя, 2007.
3. *Мансуров В.А., Юрченко О.В.* Перспективы профессионализации российских врачей в реформирующемся обществе // Россия реформирующаяся: ежегодник — 2004 / отв. ред. Л.М. Дробижева. М.: ИС РАН, 2004. С. 61–79.
4. *Мансуров В.А., Юрченко О.В.* Профессионализация российских врачей как процесс конструирования новых статусных позиций // Социальная динамика и трансформация профессиональных групп в современном обществе. М.: ИС РАН, 2007.
5. *Мансуров В.А., Юрченко О.В.* Социология профессий. История, методология и практика исследований // Социологические исследования. 2009. № 8. С. 36–46.
6. *Мертон Р.К.* Социальная теория и социальная структура. М.: АСТ: АСТ МОСКВА: ХРАНИТЕЛЬ, 2006.
7. Отчет по результатам опроса населения «Медицина традиционная и нетрадиционная». ФОМ. 25.07.2002. URL: http://bd.fom.ru/report/cat/home_fam/healthca/doc/of022701
8. Положение о Министерстве здравоохранения Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства РФ от 3 июня 1997 г. № 659.
9. Профессии.doc. Социальные трансформации профессионализма: взгляды снаружи, взгляды изнутри / под ред. Е. Ярской-Смирновой, П. Романова. М.: ООО «Вариант», ЦСПГИ, 2007.
10. *Романов П.В., Ярская-Смирнова Е.Р.* Мир профессий: пересмотр аналитических перспектив // Социологические исследования. 2009. № 8. С. 26–35.
11. *Сакс М., Олсол Дж.* Социология профессий: государство, медицина и рынок в Великобритании. URL: <http://www.ecsocman.edu.ru/text/18171705>

12. *Сало Е.П.* Англо-американская социология о профессионализации альтернативной медицины // Социальная динамика и трансформация профессиональных групп в современном обществе / под ред. В.А. Мансурова. М.: Изд-во ИС РАН, 2007. С. 135–147.

13. *Сало Е.П.* Опыт изучения социального статуса специалистов традиционной медицины // Социология: методология, методы, математические моделирование. 2008. № 26. С. 139–168.

14. Традиционная медицина в Российской Федерации: сб. нормативных и методических материалов. Федеральное агентство по здравоохранению и социальному развитию; Федеральный научный клинико-экспериментальный центр традиционных методов диагностики и лечения / под ред. А.А. Карпеева, Т.Л. Киселевой. М., 2007.

15. Традиционная медицина: политика и практика профессионализации / под ред. Е.Р. Ярской-Смирновой. М.: ООО «Вариант», ЦСПГИ, 2011.

16. *Фуко М.* Рождение клиники. М.: Смысл, 1998.

17. *Allsop J., Mansourov V., Saks M.* Working Conditions and Earning Options of Physicians in the Russian Federation: A Comparative Case Study // *Russia Today: Sociological Outlook* / ed. by V. Mansourov. М.: Russian Society of Sociologists, 1999.

18. *Bakx K.* The 'Eclipse' of Folk Medicine in Western Society // *Sociology of Health and Illness*. 1991. No. 13. P. 20–38.

19. *Bloom B.S., Retbi A., Dahan S., Jonsson E.* Evaluation of Randomized Controlled Trials on Complementary and Alternative Medicine // *International Journal of Technology Assessment in Health Care*. 2000. Vol. 16. No. 1. P. 13–21.

20. *Braverman H.* Labour and Monopoly Capital: the Degradation of Work in the Twentieth Century. N.Y.: Monthly Review Press, 1974.

21. *Brodin Danell J.-A., Danell R.* Publication Activity in Complementary and Alternative Medicine // *Scientometrics*. 2009. Vol. 80. No. 2. P. 539–551.

22. *Burawoy M.* Manufacturing Consent: Changes in the Labor Process under Monopoly Capitalism. Chicago: University of Chicago Press, 1979.

23. *Cant S., Sharma U.* Demarcation and Transformation within Homoeopathic Knowledge. A Strategy of Professionalization // *Social Science & Medicine*. 1996. Vol. 42. No. 4. P. 579–588.

24. *Cant S., Sharma U.* Reflexivity, Ethnography and the Professions (Complementary Medicine) Watching You Watching Me Watching You (and Writing about Both of Us) // The Editorial Board of *The Sociological Review*. 1998. P. 244–263.

25. *Clarke D.B., Doel M.A., Segrott J.* No Alternative? The Regulation and Professionalization of Complementary and Alternative Medicine in the United Kingdom // *Health & Place*. 2004. Vol. 10. P. 329–338.

26. *Coburn D.* Professionalization and Proletarianization: Medicine, Nursing, and Chiropractic in Historical Perspective // *Labour/Le Travail*. Fall 1994. Vol. 34. P. 139–162.

27. *Coburn D., Rappolt S., Bourgeault I.* Decline vs. Retention of Medical Power Through Re-stratification: an Examination of the Ontario Case // *Sociology of Health & Illness*. 1997. Vol. 19. No. 1. P. 1–22.
28. *Freidson E.* The Reorganization by Regulation of the Professions // *Law and Human Behavior*. 1983. Vol. 7. No. 2/3.
29. *Fries Ch.J.* Bourdieu's Reflexive Sociology as a Theoretical Basis for Mixed Methods Research: An Application to Complementary and Alternative Medicine // *Journal of Mixed Methods Research*. 2009. Vol. 3. No. 4. P. 326–348.
30. *Greenwood E.* Attributes of a Profession // *Zald M. (ed.). Social Welfare Institutions*. L.: Wiley, 1965. P. 509–523.
31. *Harvey D.* The Condition of Postmodernity. An Enquiry into the Origins of Cultural Change. Cambridge, MA: Basil Blackwell, 1989.
32. *Hess D.* Science and Technology in a Multicultural World. N.Y.: Columbia University Press, 1995.
33. *Hess D.* Science in the New Age — the Paranormal, Its defenders and De-bunkers, and American Culture. Madison: The University of Wisconsin Press, 1993.
34. *Hollenberg D.* Uncharted Ground: Patterns of Professional Interaction Among Complementary/Alternative and Biomedical Practitioners in Integrative Health Care Settings // *Social Science and Medicine*. 2006. Vol. 62. No. 3. P. 731–744.
35. *Hollenberg D., Muzzin L.* Epistemological Challenges to Integrative Medicine: An Anti-Colonial Perspective on the Combination of Complementary/Alternative Medicine with Biomedicine // *Health Sociology Review*. 2010. Vol. 19. No. 1. P. 34–56.
36. *Illich I.* Medical Nemesis. L.: Calder & Boyars, 1974.
37. *Ingliss B., West R.* The Alternative Health Guide. L.: Michael Joseph. 1983.
38. *Jutte R.* Alternative Medicine and Medico-Historical Semantics // *Historical Aspects of Unconventional Medicine — Approaches, Concepts, Case Studies* / *Jutte R., Eklof M., Nelson M.C. (eds)*. Sheffield: European Association for the History of Medicine and Health Publications. 2010.
39. *Larson M.* The Rise of Professionalism: a Sociological Analysis. Berkeley; L.: University of California Press, 1977.
40. *Macdonald K.* The Sociology of the Professions. L.: Sage, 1995.
41. *McKinlay J., Archers J.* Towards the Proletarianisation of Physicians // *International Journal of Health Services*. 1985. No. 18. P. 191–205.
42. *Millerson G.L.* The Qualifying Association. L.: Routledge & Kegan Paul, 1964.
43. *Murphy R.* Social Closure: the Theory of Monopolization and Exclusion. Oxford: Clarendon Press, 1988.
44. *Parsons T.* The Professions and Social Structure (1939) // *Parsons T. Essays in Sociological Theory (Revised Edition)*. N.Y.: The Free Press, 1966. P. 34–46.

45. *Saks M.* Organizing Professionalism in Public and Private Domains: Medicine in Britain, the United States and Russia. 14th Annual Conference of the International for Public Management. Berne. Sweetzeland. 7–9 April 2010. P. 1–11.

46. *Saks M.* Orthodox and Alternative Medicine: Politics, Professionalization and Health Care. L.: Sage/Continuum, 2003.

47. *Siahpush M.* A Critical Review of the Sociology of Alternative Medicine: Research on Users, Practitioners and the Orthodoxy // *Health*. 1999. Vol. 4. No. 2. P. 159–178.

48. *Wiese M., Oster C., Pincombe J.* Understanding the Emerging Relationship Between Complementary Medicine and Mainstream Health Care: A Review of the Literature // *Health*. 2010. Vol. 14. No. 3. P. 326–342.

© Садыков Р.А., 2012

М.В. Сеницын
Научный
руководитель —
А.Ю. Скопин
Кафедра
региональной
экономики
и экономической
географии

Специфика функционирования рынков электроэнергии и основные модели их реформирования

В странах с рыночной экономикой организация рынка в электроэнергетике неизбежна, но конкретные механизмы ценообразования и правовые нормы могут различаться. Необходимо отметить, что ряд особенностей электроэнергии как товара не позволяет создать классический рынок. Возможен лишь рынок неолиберальный — со значительным вмешательством государства для имитации рыночных условий. В статье рассматриваются технологические и экономические особенности рынка электроэнергии, отличающие его от обычных конкурентных рынков, а также описываются основные модели организации рынков электроэнергии в мире.

Технологическая и организационная специфика рынков электроэнергии

Особенностями электроэнергии как товара являются транспортировка по проводам, что означает территориальную ограниченность рынка (только теми районами, где есть электросети), и невозможность хранения (исключая ГАЭС). Эти технические особенности позволяют игрокам на рынке использовать монопольное положение (хотя бы и в краткосрочном периоде): подключение новых мощностей происходит не сразу, а с новых крупных потребителей можно взимать высокую плату за подключение. Кроме того, с одной стороны, регулируемые монополисты создавали слабо связанные энергетические сети (американские и австралийские штаты, Скандинавские страны), и требовалось сильное государственное вмешательство для развития единых энергосистем. С другой стороны, из-за технических проблем для больших систем невозможно организовать передачу электроэнергии на большие расстояния, и есть проблемы перегрузок на границах региональных систем (например, в Единой энергосистеме России

нельзя перебрасывать избыточную электроэнергию сибирских ГЭС в европейские энергодефицитные регионы).

Особенностью является и высокая степень взаимного влияния между производителями: поскольку электроэнергию нельзя хранить, регулирование общего производства происходит централизованно в реальном времени. Дополнительной сложностью является высокая волатильность изменения нагрузки как в течение дня, так и в течение месяца и года, при том что для различных видов генерации издержки запуска/остановки, стоимость топлива различаются на порядки. Способность обеспечивать поставку и транспортировку может меняться в короткие сроки.

Экономическая специфика рынков электроэнергии

Следующей особенностью является эффект масштаба, состоящий в снижении издержек производства, транспорта и распределения электроэнергии (и соответствующем снижении цены, в случае если в отрасли моносония или монополия, регулируемая государством) при увеличении размеров системы: уменьшение резервов генерирующих мощностей, улучшение удельных экономических показателей по мере укрупнения электростанций и повышения пропускной способности ЛЭП, улучшение экономических показателей в целом под влиянием инноваций в каждой части системы, «мощностных» эффектов при увеличении интеграции системы из-за уменьшения доли административно-управленческих расходов. При этом если в отрасли созданы конкурентные условия, то инвестиции отдельной компании в расширение энергосистемы приводят к внешним эффектам, так как остальные фирмы могут уменьшить резервы, оптимизировать генерацию. Особенно сильным будет влияние эффектов в случае, если мощности генерирующих компаний распылены между отдельными регионами (случай реформирования РАО «ЕЭС России»): фирмам сложно создавать необходимые резервы по отдельности, кроме того, положительными эффектами от инвестиций могут воспользоваться конкуренты. Тогда компании либо полагаются на внешнее регулирование, либо не создают достаточных резервов.

Принципиально различаются общие издержки (которые можно определить только по интегральным результатам работы за большой период) и переменные часовые издержки (которые служат для опти-

мизации системы в краткосрочном периоде). Это приводит к выделению специальных рынков мощности или часть общих издержек включается регулятором рынка в тариф на электроэнергию. Таким образом, издержки для генерирующей компании можно оценить лишь с высокой степенью неопределенности.

К особенностям рынка электроэнергии относятся также длительный период окупаемости при значительных затратах и большом сроке строительства и поэтапность развития энергосистемы (новые станции и ЛЭП строятся как дополнительные). Отсюда — необходимость планирования развития системы с учетом всех участников и на длительный период времени.

В электроэнергетике нет единого рынка, который бы управлял процессами производства и распределения электроэнергии и давал необходимые сигналы для развития генерирующих мощностей. Фактически в отрасли действуют три вида рынков собственно электроэнергии — текущий, краткосрочных и долгосрочных контрактов, а также несколько вспомогательных.

На текущем рынке торговля осуществляется в реальном (или близком к реальному) времени. Его разновидностями, применяемыми в разных странах, являются спотовый рынок, «балансирующий» рынок или рынок «на сутки вперед». На текущий рынок производители электроэнергии выходят со своими часовыми характеристиками издержек, которые представляют собой зависимости предельных издержек на $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ от отпускаемой мощности генерирующей компании. Равновесная цена электроэнергии на текущем рынке в тот или иной момент времени (обычно час суток) устанавливается по соотношению указанных кривых со спросом потребителей в этот момент. Диспетчер может заставить компании создавать необходимые резервы мощности или закупать у них резервные мощности для балансировки текущего рынка.

Краткосрочный (годовой) рынок электроэнергии определяет основные результаты экономической деятельности производителей и расходы потребителей на покупку электроэнергии. Именно такой рынок обычно рассматривается в теории микроэкономики применительно к фиксированным мощностям. В электроэнергетике краткосрочный рынок принимает форму двусторонних контрактов производителей и потребителей (или сбытовых компаний), заключаемых на 1–3 года (форвардные или фьючерсные рынки). Кроме того, на этом рынке активно используется клиринг.

Рынок долгосрочных контрактов охватывает период более года и предусматривает возможность расширения производства (мощности производителей не фиксируются). Именно такой рынок должен находиться в фокусе внимания при анализе развития генерирующих мощностей энергосистемы в условиях конкурентного оптового рынка электроэнергии. При этом предположение, что ценовые сигналы, стимулирующие строительство новых электростанций, будет подавать спотовый рынок, можно считать, по меньшей мере, малообоснованным, так как спотовый рынок отражает текущую ситуацию, а долгосрочный рынок должен оперировать с предстоящим периодом 10–15 и даже более лет (исключение — ПГУ), чтобы электростанции могли быть построены и окупиться.

Даже краткосрочный (годовой) рынок не в состоянии подавать ценовые сигналы для развития генерирующих мощностей и заменить долгосрочный рынок. Двусторонние контракты, заключаемые на 1–3 года с существующими производителями, будут содержать цены электроэнергии, соответствующие издержкам действующих электростанций. Для обеспечения строительства новых электростанций такие контракты (с существующими или новыми производителями) должны, с одной стороны, быть сверхдолгосрочными (на 10–20 лет), а с другой — иметь более высокие цены на электроэнергию, обеспечивающие окупаемость инвестиций.

Системному оператору могут понадобиться резервы мощности для автоматического регулирования и стабилизации частоты при перерывах в электроснабжении в целях надежной работы системы в самом ближайшем будущем. Поставки реактивной мощности необходимы для поддержания уровня напряжения. В сети также должны иметься резервы для пуска из полностью обесточенного состояния на случай отключения электричества. Резервы могут понадобиться и для поминутного поддержания баланса в системе в случае более серьезного дисбаланса в результате выхода из строя крупных генерирующих объектов или линий электропередачи. Необходимость таких мощностей заставляет системного оператора или заключать долгосрочные контракты, или организовывать аукционы по приобретению резервов.

Особого внимания заслуживают принципы территориальной организации тарифов за передачу электроэнергии. Электричество идет по линии наименьшего сопротивления, избегая направлений перетоков, которые могли предусматриваться в контрактах. В конкретной линии электропередачи сопротивление и потери при передаче растут по мере

увеличения нагрузки. Эти отношения никогда не являются линейными или постоянными, что делает оптимизацию диспетчирования очень сложной. Степень сложности отчасти уменьшается в сетях, соединяющих однопроводные линии в радиальную систему для поддержки генерирующих центров и энергоузлов. И наоборот, сложность увеличивается в узловых сетях, в которых линии электропередачи пересекают передающую систему крест-накрест, тем самым создавая несколько альтернативных направлений перетоков. В идеальном случае цена на электроэнергию устанавливается в каждом месте энергосети с учетом передаваемой мощности и понесенных сетевых потерь. Наиболее близок к идеалу так называемый узловой принцип ценообразования. Концепция его такова: каждая трансформаторная подстанция в сети электропередачи является узлом, и цена устанавливается по каждому узлу с учетом пропускной способности и потерь в сети.

Возможны случаи, когда генерация и нагрузка равномерно распределяются по радиальной передающей системе без возникновения участков перегрузки, тогда все генерирующие компании имеют одинаковые потери при передаче. Следовательно, оптимальным в этой системе будет диспетчирование генерирующих источников с минимальными маржинальными затратами.

Альтернативным подходом является применение таких принципов ценообразования, которые пренебрегают территориальным аспектом рынков электроэнергии или учитывают его только в зональном ключе. Цель зонального ценообразования — обнаружение главных участков или областей перегрузки в сети электропередачи, а затем использование их для формирования группы узлов с единым ценообразованием. Другим способом учета территориальных аспектов установления цен на электроэнергию являются единые сетевые тарифы. Тарифы за пользование сетью могут отражать потери в сетях, связанные с потреблением или генерацией в определенном месте электросети.

Следует сказать и о существовании рынка финансовых прав на передачу. На рынке передаваемая мощность, соединяющая две ценовые области, имеет внутреннюю стоимость. Участник, контролирующий перетоки электроэнергии по линии электропередачи, может получить сумму, соответствующую ценовой разнице между двумя областями. Эти доходы на разных рынках называются по-разному: в США — финансовым правом на передачу, в Австралии — расчетными остатками, а в скандинавском регионе — платой за перегрузку. Финансовое право на передачу дает две основные возможности. Во-первых,

участники рынка могут использовать его в качестве средства хеджирования для управления рисками, связанными с ценовыми разницеми между областями. Во-вторых, это право может дать ценовой сигнал для эффективного инвестирования в строительство новых передающих мощностей.

Отмеченные особенности еще раз подтверждают, что одного создания конкурентного рынка недостаточно — приходится поддерживать его с помощью постоянного государственного вмешательства. Действительно, из-за эффектов масштаба и технологической специфики более крупная компания оказывается в более выигрышном положении, а из-за неопределенности издержек компании имеют стимулы к превращению в вертикально интегрированные. Государству приходится создавать неолиберальный рынок электроэнергии, постоянно имитируя конкуренцию.

Основные модели рынков электроэнергии

В современных рыночных экономиках выделяется четыре основные модели электроэнергетического рынка [1; 2].

1. Регулируемая естественная монополия — вертикально интегрированные компании, охватывающие все этапы производства, транспортировки, распределения и сбыта электроэнергии. На нее возлагается ответственность за бесперебойное обеспечение электроэнергией потребителей. Иногда наряду с монопольными компаниями могут существовать независимые производители электроэнергии и отдельные сбытовые компании. По регулируемым государством ценам они продают или покупают электроэнергию у монопольной компании. Цены на электроэнергию, производимую естественными монополиями, регулируются специальными государственными органами (энергетическими комиссиями). В небольших монопольных компаниях, подобных АО-энерго в России 1990–2000-х гг., тарифы устанавливаются непосредственно для разных групп потребителей, в таких крупных, как РАО «ЕЭС России», — на оптовом рынке электроэнергии. Естественные монополии планируют и согласовывают с государственными органами развитие энергетической системы, при этом затраты на капиталовложения включаются в тарифы на электроэнергию.

Необходимо отметить, что благодаря гарантированному возврату сделанных инвестиций естественная монополия может получать кредиты под низкий ссудный процент и с длительным сроком возврата.

Такая форма организации рынка была доминирующей в мире в XX в. в настоящее время большинство штатов США и канадских провинций (при возможности либерализации рынков), Франция, Япония и многие развивающиеся азиатские и африканские страны используют эту модель. Последующие формы связаны с постепенным выделением указанных выше этапов и образованием соответствующих генерирующих, сбытовых и распределяющих компаний.

2. Единственный покупатель — это модель рынка, при которой сфера генерации разделяется на несколько независимых электрогенерирующих компаний, конкурирующих за поставки единственному закупочному агентству, объединяющему остальные сферы и регулирующемуся государством. Закупочная государственная компания при этом заключает долгосрочные договора с производителями, что позволяет последним планировать свою инвестиционную деятельность на длительный срок. Монополия на рынке при избытке генерирующих мощностей приводит к снижению цен. Закупочное агентство несет ответственность за надежность электроснабжения потребителей и планирует развитие энергосистемы. Эта модель используется в Китае, Южной Корее, Индии, Мексике, Испании, Ирландии. Необходимо отметить, что описанные выше модели позволяют субсидировать определенные отрасли или группы потребителей. Такие модели применяются и в странах, испытывающих дефицит мощностей или вынужденных строить капиталоемкие АЭС и ТЭС.

3. Конкуренция на оптовом рынке — модель, при которой выделяются также этапы распределения и сбыта электроэнергии, создаются транспортно-сетевая компания (с диспетчерскими функциями), территориальные распределительно-сбытовые компании (с фиксированными зонами деятельности). Цены оптового рынка определяются на рынке, а розничные цены и деятельность распределительных компаний регулируются. Как правило, эта модель является переходной. Ответственность за надежное электроснабжение несут теперь распределительно-сбытовые компании, которые владеют распределительными сетями.

При переходе от второй к третьей модели происходят важные изменения в условиях финансирования инвестиционных проектов. Теперь нет государственных органов, занимающихся проектированием развития энергосистемы в целом — проектирование касается только высоковольтных линий электропередачи и подстанций. Но при расщеплении активов и неразвитости долгосрочного рынка сложно

добиться оптимальной структуры генерирующих мощностей при расщеплении активов и неразвитости долгосрочного рынка. С одной стороны, риски, связанные с инвестициями, ложатся на производителей, а не оплачиваются потребителями, как в первых двух моделях. С другой стороны, инвестиции в новые генерирующие мощности окупаются благодаря электроэнергии, вырабатываемой только ими, а не всей энергосистемой. Создается барьер для вхождения на рынок новых производителей.

4. При конкуренции на оптовом и розничном рынках также разделяются сферы распределения и сбыта с образованием регулируемых территориальных распределительных компаний и независимых сбытовых компаний. Организуются розничные рынки электроэнергии. В последней модели возможны прямые поставки электроэнергии от производителей к потребителям. Так как потребитель получает возможность выбора продавца, то у него появляется возможность покупать более дешевую электроэнергию, а распределительно-сбытовые компании получают стимулы конкурировать за потребителей — в том числе посредством предложения не только электроэнергии, но и, например, газа (как в Великобритании). Благодаря возможности выбора потребители могут лучше реагировать на изменение цен, что повышает энергоэффективность (снижение потребления в пиковые периоды, возможности для организации «умных» электрических сетей).

При этом из-за большого количества потребителей необходимо создать огромную систему учета (например, в Великобритании более 22 млн потребителей). А для того чтобы потребители могли гибко реагировать на изменение цен, следует устанавливать системы, не только фиксирующие нужную информацию в реальном времени, но и отправляющие ее оператору. Необходимые счетчики дороги по сравнению с получаемыми потребителем выгодами, поэтому устанавливаются при государственной (Великобритания) поддержке или генерирующими компаниями (Италия).

Особая проблема — «неокупленные затраты» (stranded costs), которые возникают в случае, если естественная монополия имела на момент реформы непогашенные кредиты на строительство электростанций. К ним относят и затраты на генерирующие мощности, становящиеся неэффективными в новых условиях. Эти затраты могут погашаться государством, в том числе через продажу электростанций по сниженной цене, а также потребителями (в США были повышены тарифы в период реформы, в Великобритании ввели особый 10%-й на-

лог на продажу электроэнергии потребителям). В некоторой степени компенсацией этих затрат может выступать введение отдельной платы за мощность (или ее повышение).

При этом в России отсутствует проблема «неокупленных затрат», поскольку в процессе приватизации электроэнергетики в начале 1990-х гг. основные фонды были безвозмездно переданы РАО «ЕЭС России» и АО-энерго, а в ходе реформы инвестиционная деятельность РАО «ЕЭС России» оплачивалась из его собственных и из государственных средств. Но для компенсации ограничений вывода генерирующих мощностей современные ОГК и ТГК тоже получили компенсацию, в том числе в виде платы за мощность.

На рынке электроэнергии сохраняются возможности для создания молчаливого сговора, так как новым производителям для входа необходимо стабильно высокий уровень цен на оптовом рынке, а существующие компании могут манипулировать ценами в краткосрочном периоде.

Четвертая модель принята в США (Калифорния, Пенсильвания), Канаде (Онтарио), Бразилии, Аргентине, Австралии, Новой Зеландии, Великобритании, России. Последние две модели считаются моделями либерализованных рынков.

Каждая из моделей обладает как преимуществами, так и недостатками. Первые две позволяют государству проводить активную промышленную политику. А благодаря описанным выше особенностям рынков электроэнергетики (например, эффект масштаба) — снижать издержки на управляющий персонал, резервы, снижать цены для потребителей. При этом высока цена ошибки: экономически неоптимальные расположение мощностей, выбор топлива, очередность подключения потребителей (проблема расчета оптимального развития большой энергосистемы усугубляется лоббистскими усилиями местных властей, предприятий), так как уже строительство новых мощностей затратно и занимает много времени. У естественной монополии нет стимулов к повышению эффективности производства, но есть стимулы к увеличению основного капитала (который оплачивается большим числом потребителей) под предлогом создания резервов мощностей для сверхнадежных поставок электроэнергии. Очень важную роль в первых моделях играют регулирующие органы, поскольку они определяют развитие энергосистемы. Дополнительной проблемой является постоянное и энергичное давление со стороны регулируемых компаний.

Вторая модель является более сложной, нежели первая, так как включает элементы не только монополии (закупочное агентство и потребители), но и монополии (агентство и производители) и олигополии (производители). Поэтому государственное вмешательство требует большей квалификации и профессионализма чиновников.

Модели либерализованных рынков приводят к значительному увеличению государственного вмешательства для поддержания конкуренции, увеличению расходов на бюрократию, ответственную за поддержание конкуренции. Наряду с этим увеличивается непредсказуемость и волатильность цен на рынках электроэнергии, а в условиях недостаточного регулирования у существующих компаний при высоких барьерах входа в отрасль есть стимулы к молчаливому сговору для повышения цен, в том числе и с помощью создания искусственного дефицита мощностей. Возможно снижение надежности энергоснабжения (особенно при распылении генерирующих мощностей).

Таким образом, рассмотренные особенности рынка в электроэнергетике свидетельствуют о существенном его отличии от рынков в других отраслях и требуют при проектировании обязательного учета правовых норм, регулирующих рынки. Выбор же модели организации рынка электроэнергии определяется целями экономической политики и возможностями государства по управлению этим рынком.

Источники

1. *Беляев Л.С.* Проблемы электроэнергетического рынка (развитие представлений о свойствах больших систем энергетики) // Шестые Мелентьевские чтения: сб. науч. трудов. М.: ИНЭИ РАН, 2009. С. 90–115.
2. *Беляев Л.С., Подвальников С.В.* Рынок в электроэнергетике: проблемы развития генерирующих мощностей. Новосибирск: Наука, 2004.
3. Международный опыт реформирования электроэнергетики: Англия и Уэльс. Сайт РАО «ЕЭС России». URL: <http://www.rao-ees.ru/ru/reforming/foreign/mo/England.pdf>
4. Уроки, извлеченные из либерализации рынков электроэнергии. МЭА. 2005. URL: http://www.iea.org/russian/pdf/ElectricityMarket_Russian.pdf

М.В. Сеницын
Научный
руководитель —
А.Ю. Скопин
Кафедра
региональной
экономики
и экономической
географии

Опыт реформирования рынков электроэнергии в США и Европе и перспективы его применения в России

В странах с рыночной экономикой организация рынка в электроэнергетике неизбежна, но конкретные механизмы ценообразования и правовые нормы могут различаться. Страны, реформировавшие свою электроэнергетику, значительно разнятся: по климату, географическому положению, экономической конъюнктуре, социальной напряженности, начальным условиям в отрасли и провозглашенным целям, поэтому универсальной эффективной модели и рынка электроэнергии, и реформирования отрасли не существует. Рассмотрим опыт ведущих европейских стран и его приложение в России.

Опыт регулирования электроэнергетики в Великобритании

Первой страной, реформировавшей электроэнергетику, была Великобритания, и ее опыт стал основополагающим при реформировании отрасли в других странах, в том числе в Российской Федерации. Вклад электроэнергетики составлял всего 1,4% в ВВП (один из самых низких показателей среди развитых стран), а стабильная экономическая ситуация позволяла осуществлять самые радикальные меры, так как возможные издержки были бы невелики. Целью реформы стало снижение цен и стимулирование перехода отрасли от генерации на основе угля к генерации на основе газа.

До 1989 г. электроэнергетическая отрасль в Англии и Уэльсе целиком находилась в государственной собственности. Руководство генерацией и передачей электроэнергии осуществлялось Центральным электроэнергетическим управлением, а распределение — 12 электроэнергетическими управлениями [6]. В рамках Закона об электроэнер-

гетике 1989 г. были проведены реорганизация, акционирование и в конечном счете приватизация всего сектора. Все передающие активы и ответственность за управление работой системы и деятельностью рынка были переданы компании National Grid Company (NGC). Все генерирующие активы распределили между компаниями National Power (40 электростанций обычного типа мощностью 30 ГВт), PowerGen (23 электростанции обычного типа мощностью 20 ГВт) и Nuclear Electric (12 электростанций обычного типа мощностью 8 ГВт). 12 областных электроэнергетических управлений были преобразованы в 12 региональных электроэнергетических компаний (РЭК). Право собственности на компанию NGC было передано этим 12 РЭК.

В Шотландии на основании Закона об электроэнергетике 1989 г. также была проведена реорганизация Управления по гидроэнергетике Северной Шотландии, которая привела к образованию компаний Scottish Hydro-Electric и Scottish Power. В июне 1991 г. обе компании были приватизированы.

Для обеспечения постепенности перехода были приняты специальные меры — регулирование потолка цен с использованием индекса розничных цен (устанавливался верхний предел, который представлял собой увеличение ИРЦ минус точная величина необходимого повышения эффективности), подписан ряд трехгодичных контрактов (так, National Power и PowerGen заключили контракты на покупку угля у компании British Coal, по-прежнему принадлежавшей государству, по цене, превышающей мировые рыночные цены), правительство стало владельцем «золотой акции» в приватизируемых предприятиях.

Достичь поставленной цели — снижения цен для потребителей — нельзя без создания конкуренции поставщиков и обеспечения потребителям возможности реагировать на ценовые сигналы.

Первым шагом стало введение с 1 апреля 1990 г. розничной конкуренции для 5000 потребителей с нагрузкой более 1 МВт, и начало работы пула. Свобода выбора поставщика расширялась постепенно. В апреле 1994 г. барьер снизили с 1 МВт до 100 кВт, в результате число потребителей, обладающих таким правом, возросло до 45 тыс. Остальные 22 млн получили право перехода на нового поставщика в период с сентября 1998 г. по июнь 1999 г.

Приватизация началась в декабре 1990 г. с 12 РЭК. По истечении в 1995 г. срока «золотых акций» РЭК они были приобретены другими регулируемыми коммунальными компаниями из Великобритании и двумя американскими коммунальными компаниями. PowerGen и Na-

tional Power также подали заявки на покупку РЭК, движимые стремлением к вертикальной интеграции с энергосбытовыми организациями. Заявки были направлены в Комиссию по монополиям и слияниям, но Министерство торговли и промышленности дало отрицательный ответ. Тогда каждый из двух указанных лидеров отрасли согласился на реализацию еще 4000 МВт генерирующей мощности в обмен на разрешение приобрести РЭК. Это произошло в ноябре 1998 г. На рынок Великобритании вышло несколько крупных зарубежных коммунальных компаний.

Атомные электростанции были переданы British Energy и British Nuclear Fuels Ltd. Затем British Energy была приватизирована. Благодаря заключению трехгодичных контрактов и предоставлению «золотых акций» РЭК сроком на пять лет правительство смогло сохранить возможность маневра. Когда через три года цены стали расти, для стимулирования выхода на рынок независимых производителей электроэнергии РЭК разрешили заключать долгосрочные договоры на покупку у них электроэнергии, а самим независимым производителям — долгосрочные контракты на поставку газа. Это привело к росту генерации на газе, увеличению мощности новых парогазовых установок (ПГУ) и повышению рыночной доли генерирующих компаний-лидеров отрасли. В результате газового бума доля угольной отрасли уменьшилась более чем вдвое.

Постоянный мониторинг деятельности рынка электроэнергии осуществляли как государственные органы, так и ассоциации. На основе анализа проводилась коррекция правовых норм рынка. В 1998 г. Управление по регулированию электроэнергетики опубликовало обзор деятельности пула, где содержались распространенные критические замечания о действующей обязательной системе пула и давались рекомендации по созданию Нового механизма торговли электроэнергией (NETA), в основе которого лежит принцип добровольного участия. Правительство одобрило рекомендации, и 27 марта 2001 г. механизм NETA вытеснил пул. В июле 2000 г. был принят новый Закон о коммунальных предприятиях. Основные его моменты: замена отдельных органов регулирования газовой отрасли и электроэнергетики одним регулирующим органом — Бюро по газовому и электроэнергетическому рынкам, юридическое разграничение энергосбытовой и распределительной деятельности, а также внедрение механизма NETA. Закон о коммунальных предприятиях 2000 г. стал причиной юридического разукрупнения двух вертикально интегрированных шотландских ком-

мунальных компаний. В 2003 г. Бюро по газовому и электроэнергетическому рынкам ввело новый аспект регулирования цен с помощью ИРЦ, направленный на имитирование стимулов для обеспечения эффективного уровня качества. В апреле 2005 г. Шотландия была включена в сферу влияния NETA, а NETA переименована в ВЕТТА.

В основе торгового механизма пула, используемого до 2001 г., лежали принципы, которыми руководствовалось при проведении диспетчерских расчетов бывшее ЦЭУ. Пул производил диспетчерские расчеты с помощью того же самого программного обеспечения — GOAL. Генерирующие источники подавали заявки и указывали затраты на подготовку производства и другие ограничения технического характера. Заявки подавались в порядке возрастания, а программное обеспечение рассчитывало такое распределение нагрузки, которое позволило бы удовлетворить прогнозный спрос с учетом ограничений, существующих в передающих сетях. Маржинальная заявка устанавливает маржинальную цену системы, которая будет уплачиваться всем поставщикам, чьи заявки были удовлетворены. Потери в электросетях и устранение перегрузок (территориальные аспекты) не отражались в устанавливаемых ценах — они учитывались только при фактическом диспетчировании. Спрос прогнозировался компанией National Grid Company. Заявки и цены рассчитывались для каждого получасового интервала следующего операционного дня. Маржинальная цена системы была лишь одной из составляющих цены, которая устанавливалась для потребителей, и компенсации, которую получали генераторы. Самым важным нововведением стала плата за мощность, взимаемая генераторами за предоставление генерирующей мощности в распоряжение рынка. Эта плата представляла собой цену за наличие генерирующей мощности, но рассчитывалась она динамически, исходя из оценки резерва мощности, вероятности потери нагрузки и предполагаемой стоимости потерянной нагрузки для каждого получасового интервала. Поэтому уменьшение резерва мощности вело к росту цены. Такая система взимания платы за мощность была нескрываемой попыткой отразить действительную стоимость мощности для каждого получасового интервала, но она оказалась подверженной манипулированию на рынке с доминирующими участниками, что и произошло на рынке Англии и Уэльса в середине 1990-х гг. Кроме того, с потребителей взималась плата за потери при электропередаче, вспомогательные услуги, резервы и другие услуги, необходимые для управления работой системы.

Помимо проблем злоупотребления рыночной властью существовал целый ряд других трудностей. Рынок был односторонним, что затрудняло участие потребителей в его работе. Не состоялось и развитие ликвидного финансового рынка. В механизме NETA, а позднее и в ВЕТТА используется совершенно иной подход. Вместо обязательной торговли в пуле все торговые операции совершаются на добровольных двусторонних началах в четырех рыночных сегментах: форвардный рынок, рынки средне- и долгосрочных двусторонних контрактов, торгуемых на внебиржевых площадках и рынок краткосрочных двусторонних контрактов сроком на 24 часа до «закрытия ворот».

Единственный сегмент, участие в работе которого обязательно для участников рынка, — это балансирующий рынок, его деятельностью управляют National Grid Company и ELEXON. «Закрытие ворот» наступает за час до реального времени. Все участники рынка обязаны представить графики («итоговые физические уведомления») до «закрытия ворот». Они несут ответственность за любые отклонения от графика. Графики составляются и для генерации, и для потребления, что делает рынок по-настоящему двусторонним. Все участники рынка имеют право регулировать неожиданные отклонения в части генерации и спроса. Они могут подавать заявки на балансирующем рынке с указанием цен и объемов, с помощью которых они хотят увеличить или уменьшить генерацию и спрос. Между покупкой услуг по балансированию и другими аналогичными рынками есть одно существенное различие: для тех, кого привлекают к оказанию услуг по балансированию, цены устанавливаются в режиме дискриминационного аукциона.

Дискриминационное ценообразование означает, что цены, указываемые в заявке каждым конкретным участником рынка, совпадают с суммами, которые он получит, если ему придется выступать в роли поставщика услуг. В этом состоит кардинальное отличие от принципа маржинального ценообразования, используемого на других рынках электроэнергии. Идея дискриминационного ценообразования заключается в том, что только те генераторы (или потребители), которые могут поставлять электроэнергию по более низкой стоимости, чем самые дорогие поставщики, эту низкую цену и получают. А те, кто эти услуги купит, извлекут выгоду из такого технологического конкурентного преимущества. Считается, что в результате цены в среднем снизятся. Проблема в том, что обладатели конкурентного преимущества не всегда хотят передавать его потребителям. Чтобы не передавать это

преимущество, они могут указывать в заявке цены, наиболее близкие к стоимости самых дорогих из необходимых ресурсов. В результате они вынуждены делать акцент не на собственных затратах, а на затратах своих конкурентов. Это может привести к тому, что в результате средние цены не снизятся, а наоборот, вырастут.

Компании, нарушающие общий баланс в системе между запланированными и фактическими результатами деятельности, несут финансовую ответственность по затратам в связи с возникшим дисбалансом. С момента внедрения механизма NETA размер штрафов за нарушение индивидуального баланса изменился. При действующем принципе ценообразования те компании, у которых направление дисбаланса совпадает с общим системным дисбалансом, платят по средневзвешенной цене, заявленной участниками рынка, которым компания NGC поручила физическое балансирование системы в течение каждого получасового интервала. Участники рынка, имеющие противоположное направление дисбаланса, в результате чего им случайно удалось восстановить общий баланс в системе, платят по спотовой справочной цене. Спотовая справочная цена — это спот-цена, установленная на сутки вперед частной электроэнергетической биржей Великобритании UK Power Exchange (UKPX). Такой принцип двойного ценообразования затрагивает еще одну проблему: он создает стимул для дисбаланса в пуле. Компания NGC извлекает прибыль из использования принципа двойного ценообразования. Остаточный денежный поток возвращается участникам рынка пропорционально их доле в общем объеме спроса и генерации. Слияние компаний снижает штраф за дисбаланс, но не обязательно улучшает качество прогнозирования или сокращения реальных затрат в связи с дисбалансами в системе. Другая проблема связана с тем, что образование пула по генерации и нагрузке особенно выгодно для самостоятельного устранения дисбаланса внутри компании. В результате снижается ликвидность «официального» балансирующего рынка, и в конечном счете не исключено возрастание общих системных затрат, вызванных дисбалансом. Компания может использовать для устранения дисбаланса более дорогие собственные ресурсы, вместо того чтобы извлекать выгоду из экономичных ресурсов, принадлежащих другим генерирующим компаниям.

Перегрузки, возникающие в электросетях Великобритании, не учитываются при ценообразовании в рамках балансирующего механизма. Но в тарифах за пользование передающими сетями учитываются территориальные сигналы за подключение и пользование сетью

электропередачи. На территории Англии и Шотландии принято зональное ценообразование, в Уэльсе — единый сетевой тариф. Формирование остальных трех рынков пока нельзя считать завершенным, так как они невелики и не обладают достаточной ликвидностью. Для стимулирования привлечения инвестиций в инфраструктуру был принят механизм RAB (тарифы на принципе возвратности сделанных вложений), позволивший РЭК компенсировать инвестиционные расходы ростом тарифа на передачу.

Итогом реформ стало увеличение числа генерирующих компаний в 3 раза, обновление генерирующих мощностей и создание большой генерации на основе газа. Благодаря возросшей конкуренции удалось добиться снижения цен для крупных потребителей (но не мелких и средних). Риски для генерирующих и сбытовых компаний не удалось хеджировать на созданных рынках, что привело к образованию вертикально интегрированных компаний.

Европейский опыт регулирования: Скандинавия

Следующими реформировали электроэнергетику страны Скандинавии. Целью реформы было снижение цен посредством интеграции энергосистем четырех государств (особенно энергоизбыточной Норвегии) и расширения участия потребителей как на рынке электроэнергии, так и в инвестировании в генерирующие мощности.

Первым шагом к созданию конкурентного внутреннего рынка электроэнергии Скандинавских стран стало одобрение в 1990 г. парламентом Норвегии закона о реформе электроэнергетики, который ввел регулируемый доступ третьей стороны, свободу выбора энерго-сбытовой организации для всех потребителей электроэнергии, а также разграничение передачи электроэнергии и управления работой системы [6]. С 1 января 1992 г. государственная коммунальная компания Statkraft была разделена на две независимые государственные компании: Statkraft, генерирующую активы и контракты на розничную поставку, и Statnett, унаследовавшую передающие активы (85% всех передающих активов Норвегии) и ответственность за управление работой системы. В 1993 г. была образована электроэнергетическая биржа стран Скандинавии — Statnett Market AS.

В 1995 г. для поощрения свободы выбора поставщика была сокращена плата за переход на нового розничного поставщика с 4000 нор-

вежских крон (примерно 500 евро) до 200 норвежских крон (примерно 25 евро). В 1997 г. плату за смену поставщика отменили, а начиная с 1998 г., каждый потребитель мог перейти на новую энергосбытовую организацию через неделю после подачи уведомления.

Второй шаг был сделан Швецией, парламент которой в 1992 г. одобрил закон о реформе электроэнергетики. 1 января 1992 г. были созданы государственные компании Vattenfall AB (генерация) и Affärsväret Svenska Kraftnät (система электропередач). С 1 января 1996 г. вступил в силу Закон об электроэнергетике, требующий юридического разделения генерации и управления работой сетей. Он предоставил всем потребителям свободу выбора энергосбытовой организации. После принятия закона была создана общая норвежско-шведская электроэнергетическая биржа под названием Nord Pool, к которой позже присоединились Дания и Финляндия. Она начала работу 1 января 1996 г. как спотовый рынок, а в 1997 г. стала также вести торговлю финансовыми фьючерсными контрактами.

В Норвегии и Швеции реформирование рынка электроэнергии шло почти одновременно, но в Норвегии либерализация была проведена быстрее. В Швеции же из-за экономического спада и значительной доли тяжелой энергоемкой промышленности реформирование проводилось осторожнее. Следует также заметить, что более быстрые темпы либерализации в Норвегии позволили шведской промышленности получить некоторую выгоду за счет увеличения импорта более дешевой гидроэлектронергии, особенно в условиях кризисной ситуации 2002–2003 гг.

Следующей в скандинавский рынок была интегрирована Финляндия. Закон о реформе электроэнергетики в стране вступил в силу в 1995 г. Он предоставлял регулируемый доступ к сети всем третьим сторонам, кроме покупателей, потребляющих менее 500 кВт (затем этот барьер был отменен). Государственное вмешательство в деятельность рынка ограничено независимым регулирующим Управлением по электроэнергетическому рынку. В 1995 г. были созданы две электроэнергетические биржи: EL-X и Voimatori Oyj, в 1996 г. они были объединены в одну — EL-EX. С 1 июня 1998 г. биржа EL-EX стала представительством рынка Nord Pool.

Последним этапом стала интеграция Дании в рынок Скандинавских стран. В Дании существует две физически независимые электроэнергетические системы, одна из которых синхронизирована с германской энергосистемой, а другая — со скандинавскими системами. Эти

две системы физически не связаны между собой. С 1998 г. крупным потребителям (с объемом потребления свыше 100 ГВт • ч в год) предоставлялся доступ в сеть (заключение двусторонних договоров напрямую с производителями). В 1999 г. Законом об электроснабжении были урегулированы право доступа третьей стороны, основания для юридического разукрупнения сетей и создания независимого от правительства регулирующего органа. В 2000 г. в Восточной Дании была образована компания Elkraft System, независимый оператор передающей системы (ОПС), а 1 октября 2000 г. спотовые цены стали регулироваться Nord Pool. Так как датский электроэнергетический сектор почти полностью принадлежал муниципалитетам и кооперативам, правительство Дании было вынуждено сначала приобрести у них сетевые мощности, а затем была создана государственная компания — ОПС Energinet.dk. Потребители электроэнергии смогли таким образом получить доступ в сеть на равных основаниях. Сначала в 2000 г. его получили потребители с объемом потребления свыше 10 ГВт • ч в год, с 2001 г. — с объемом свыше 1 ГВт • ч, а с 2003 г. барьер входа был отменен.

С 1 июля 2002 г. совладельцами Nord Pool стали скандинавские ОПС — по 20% от каждой страны (последние 20% остались в собственности Nord Pool Holding). Скандинавские органы власти в сфере энергетики учредили постоянную рабочую группу для необходимой координации действий между органами власти и ОПС. Операторы передающих систем стран Скандинавии координируют свои действия через ассоциацию Nordel, которая служит базой для создания постоянных комитетов и многочисленных рабочих групп, занимающихся практически решением целого ряда проблем, связанных с эксплуатацией, планированием развития энергосистем и рыночным проектированием.

В 2002 г. рынок Nord Pool осуществлял четыре основных вида деятельности: биржевой рынок по спотовым контрактам, работающий в режиме на сутки вперед, финансовый трейдинг, клиринг и консультирование. В начале 2002 г. спотовый рынок «на сутки вперед» был выделен в отдельную компанию как наиболее важный. На этом рынке постоянные затраты не учитываются при установлении равновесной цены, но у участников есть различные возможности подачи заявок, которые позволяют генерирующим источникам подать заявку на распределение нагрузки в течение ряда часов, а не одного часа.

Скандинавские ОПС предоставили Nord Pool Spot монопольное право на использование всех имеющихся передающих мощностей,

соединяющих определенные области или зоны на рынке стран Скандинавии. В настоящее время в Норвегии существует три зоны, в Дании — две (по одной в каждой из отдельно существующих систем), в Швеции и Финляндии — по одной. На рынке Nord Pool производится расчет рыночных цен для каждой зоны с учетом всех зональных заявок и предложений и межсистемных связей между зонами. Все сетевые компании несут ответственность за оценку и покупку электроэнергии вследствие потерь в сетях, поэтому последние отражаются в зональных ценах посредством подачи нормальных потребительских заявок на спотовом рынке. ОПС дает гарантию по передающим мощностям, имеющимся в наличии на рынке Nord Pool и заявленным утром до подачи заявок и предложений в режиме на сутки вперед (право на электропередачу является фиксированным). Затраты в связи с нехваткой мощностей включаются в тарифы за пользование передающими сетями и, следовательно, оплачиваются всеми потребителями и генерирующими компаниями. И наоборот, имеющиеся в наличии передающие мощности также являются причиной взимания платы за перегрузки, которая будет использоваться для снижения тарифов, если она не пойдет на финансирование новых межсистемных связей.

Все участники рынка, желающие участвовать в торговых операциях на рынке Nord Pool, должны заключить пользовательский контракт, в котором оговорен целый ряд обязательств и сфера ответственности, определяющие взаимодействие между участниками рынка и самим рынком. К обязательствам относится требование о немедленном раскрытии рынку Nord Pool сведений об изменениях, затронувших генерирующие и передающие объекты мощностью свыше 50 МВт. Поскольку Nord Pool владеет монопольным правом на межсистемные мощности, двусторонняя торговля возможна только в рамках одной зоны.

Скандинавские ОПС управляют работой регулирующих рынков, на которых они покупают и продают электроэнергию для поддержания системного баланса в порядке возрастания цены заявок, подаваемых участниками рынка операторам передающих сетей. Цены для регулирования в режиме реального времени определяются маржинальной заявкой, как и на спотовом рынке «на сутки вперед». Общий дисбаланс в системе — это совокупность дисбалансов всех участников рынка, несущих ответственность за поддержание баланса. Очевидно, что направление большинства дисбалансов отдельных участников совпадает с суммарным системным дисбалансом, но часть дисбалансов умень-

шает совокупный системный дисбаланс. В различных странах Скандинавии к этим дисбалансам отдельных участников, случайно помогающим системе, применяются разные подходы. Во всех Скандинавских государствах ответственные за поддержание баланса участники рынка, способствовавшие возникновению дисбаланса, платят по цене, равной маржинальной цене покупки регулирующих ресурсов. В Норвегии для дисбалансов, случайно помогающих системе, устанавливается та же цена. Участники рынка, из-за которых возник дисбаланс, платят тем, кто его уменьшил. ОПС выступает исключительно в роли координатора или посредника при совершении сделок. В остальных странах участники рынка, которые случайно помогли системе, вознаграждения не получают.

Все страны Скандинавии внедрили системы составления графиков нагрузки для самых мелких потребителей, главным образом для того, чтобы не пришлось устанавливать им интервальных счетчиков с дистанционным снятием показаний.

На Nord Pool торгуются краткосрочные контракты со сроком исполнения от одного до девяти дней, а также через 1–6 недель. Из долгосрочных инструментов предлагаются контракты со сроком исполнения через 1–6 месяцев, 1–8 кварталов и 1–3 года. Возможно заключение контрактов по хеджированию различия цен на электроэнергию между зонами.

Следует также отметить, что в Норвегии большое внимание было уделено созданию вспомогательных рынков, например, качества электроснабжения: поставщик платит фиксированную почасовую плату за незапланированное длительное отключение. А потребитель может заключить с генерирующей компанией контракт, в котором заявляет свое минимальное потребление, и должен по ее требованию снижать потребление, получая соответствующее финансовое стимулирование.

Важным элементом структуры внутреннего рынка стран Скандинавии являются сетевые тарифы, в которые включены затраты в связи с потерями. Во всей системе Скандинавских стран действует тариф за подачу электроэнергии в сеть и тариф за «извлечение» электроэнергии из сети. Первое время существовали пограничные тарифы, но последние из них были отменены, когда Швеция отменила пограничный тариф с Данией в марте 2002 г. В разных странах (и даже регионах) действуют разные тарифы.

Необходимо отметить и кризис 2002–2003 гг., послуживший своеобразной проверкой реформы на прочность. Из-за засухи осенью

2002 г., холодной зимы и весны 2003 г. с небольшими осадками уровень воды в водохранилищах Норвегии, Швеции и Финляндии значительно упал. Как следствие, резко вырос уровень цен, более того, в первую очередь из-за особенностей норвежского рынка, это в значительной степени ударило по норвежским мелким потребителям. Дело в том, что в Швеции нормой для бытовых потребителей электроэнергии является заключение контрактов на один-два года. А подавляющее большинство норвежских бытовых потребителей имеют краткосрочные контракты, и изменения оптовых цен могут через одну-две недели отразиться на розничных ценах. Возникла социальная напряженность, усилившаяся из-за того, что, несмотря на климатические условия, норвежские ГЭС увеличивали экспорт в соседнюю Швецию. Тем не менее после специального разбирательства правительства не стали оказывать давления на рынок. Кризис был преодолен благодаря снижению потребления, расконсервации ТЭС в Швеции и импорту (в том числе из России — 66%).

Таким образом, как показывает скандинавский опыт, необходимо не только тщательно разрабатывать и согласовывать механизмы ценообразования на рынке, но и поддерживать неизменность принятых правил. Отличительной особенностью скандинавского опыта является и больший упор на участие игроков рынка в его деятельности: Nord Pool владеют ОПС, муниципальные власти, коммунальные компании. Крупные потребители имели приоритет (при покупке) генерирующих компаний, что позволило проводить более долгосрочную политику, в том числе даже осуществлять строительство атомного реактора со значительным сроком окупаемости.

Международный опыт реформирования рынка электроэнергии

Описанные выше пути реформирования электроэнергетических рынков в Великобритании и странах Скандинавии позволяют сделать важные выводы о значимости регионального аспекта.

Во-первых, реформирование занимает длительный период времени, в течение которого и потребители, и производители могут адаптироваться к новым условиям рынка при постепенном уменьшении роли государственного регулирования. При этом коммунальные хозяйства и муниципальные образования имеют возможность приобрести в собственность пакеты акций генерирующих и сбытовых компаний и

участвовать в дискуссии о дальнейших путях реформирования, имея представительства в специальных комиссиях и советах.

Во-вторых, именно региональные органы власти могут способствовать снижению барьеров для вступления на рынок генерирующих компаний, располагающихся близко к мелким потребителям. Как правило, это компании, связанные с альтернативной электроэнергетикой, но есть и исключения. Наиболее яркий пример — атомная станция в Финляндии, затраты на строительство которой оплачивались совместно коммунальными компаниями и крупными промышленными фирмами через акционерный капитал и покупку долгосрочных контрактов. Региональные власти могут предоставлять земельные участки, субсидии, они регулируют и спрос через определение порядка и стоимости подключения новых объектов (платежи могут быть одномоментными, но могут и включаться в тариф).

Важная проблема реформирования — стимулирование потребителей к реагированию на изменения цен. В часы предельной пиковой нагрузки спрос малоэластичен, большие трансакционные издержки не побуждают мелких потребителей реагировать на пиковые значения цен. Частично решить эту проблему может субсидирование установки специальных счетчиков, в реальном времени отправляющих информацию диспетчерским и сетевым компаниям, как было в Норвегии и Италии.

Наконец, обычно энергокомпании не конкурируют по качеству электроэнергии, определяемому государственными стандартами, но недостаточная спецификация прав собственности может привести к перебоям в электроснабжении, как это было в Италии после ураганов или в Московской области зимой 2010–2011 гг. из-за недостаточных вырубок деревьев около ЛЭП.

Реформирование РАО «ЕЭС России»

Особое место занимает реформирование электроэнергетики в Российской Федерации. Во-первых, значение этой отрасли существенно выше: 4% ВВП, 2,8% занятых. Во-вторых, недостаточные инвестиции в 1990-е — начале 2000-х гг. привели к значительному износу производственных фондов. В-третьих, отрасль создавалась в нерыночной экономике и выполняла специфичные функции. Так как лучшие ресурсы и кадры были заняты в ВПК и машиностроении, в остальных отраслях необходимо было компенсировать качество количеством, что привело

к опережающему развитию отраслей добывающей промышленности и первичной переработки, а также к значительной энерго- и ресурсоемкости продукции. Большая и развитая единая энергосеть поддерживала равновесие в экономике. В этом смысле дешевые и доступные энергоресурсы необходимы (хотя бы для поддержания) и современной российской экономике, а при переходе на рыночные принципы нужно быть предельно осторожным.

Тем не менее последняя по времени реформа РАО «ЕЭС России» проводилась под сильным влиянием опыта Великобритании и без учета интересов большинства экономических агентов-потребителей (РАО «ЕЭС России» реформировало само себя). Целью реформы провозглашалось привлечение инвестиций для обновления имеющихся мощностей и создания новых.

Во-первых, в 2003 г. был принят пакет законопроектов, определивших рамки реформирования электроэнергетики: «Об электроэнергетике», «О введении в действие Федерального закона “Об электроэнергетике”», «О внесении изменений и дополнений в Федеральный закон “О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации”», «О внесении изменений и дополнений в Федеральный закон “О естественных монополиях”», «О внесении изменений и дополнений в часть вторую Гражданского кодекса Российской Федерации», «О внесении изменений в Федеральный закон “Об энергосбережении”». Период 2003–2005 гг. был объявлен переходным (продлен до 2010 г.) — для испытания предлагаемых механизмов конкуренции и реструктуризации.

До 2005 г. между компаниями были распределены виды деятельности: производственная (конкурентная), оперативно-диспетчерская и по передаче электроэнергии (монополистические). Инфраструктура (магистральные и распределительные сети) передана Федеральной сетевой компании и межрегиональным распределительным сетевым компаниям (МРСК). Диспетчерские функции выполняет общероссийский Системный оператор. Генерирующие предприятия объединены в 6 ОГК (оптовые генерирующие компании), ГидроОГК и 14 ТГК (территориальные генерирующие компании). В первые вошли ТЭС и ГЭС, специализирующиеся на производстве почти исключительно электрической энергии, ТГК получили теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которые производят электрическую и тепловую энергию. Выделены также ремонтные, сервисные и инжиниринговые компании (см. рис. 1).

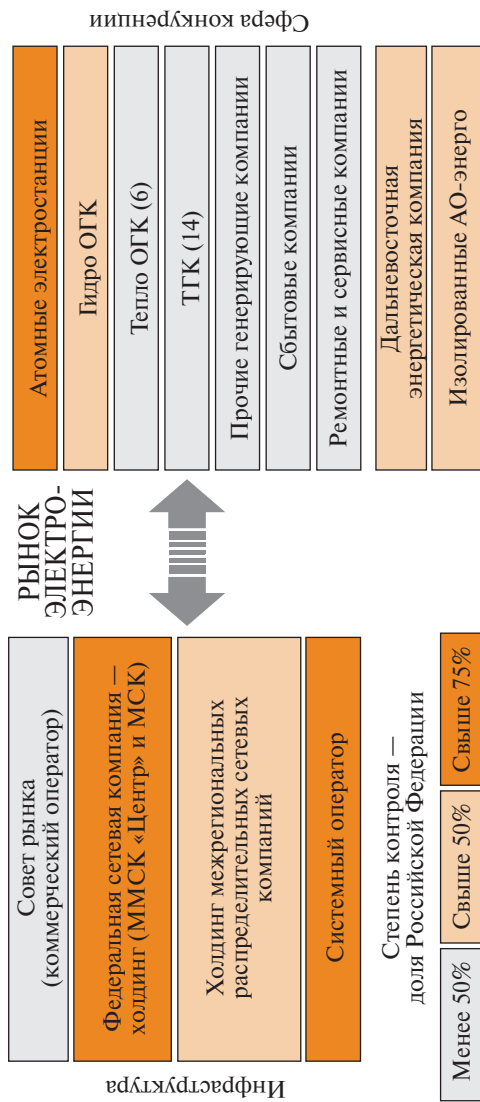


Рис. 1. Целевая структура отрасли

Источник: <http://www.rao-ees.ru/ru/reforming/reason/show.cgi?content.htm>

Кроме того, произошло разделение оптового и розничного рынков электроэнергии и тепла. Генерирующие компании, сбытовые компании, перепродающие электроэнергию на розничных рынках со сбытовой надбавкой, потребители и экспортеры являются участниками оптового рынка. Так как последний позволяет заключать напрямую контракты между потребителями и производителями электроэнергии, он является предпочтительным для крупных предприятий. Создано некоммерческое предприятие — Администратор торговой системы, регламентирующий торговлю на оптовом рынке, наблюдающий за исполнением правил торговли и занимающийся досудебным урегулированием споров между участниками рынка. На розничном рынке особое положение занимал гарантирующий поставщик — сбытовая компания, которая обязана заключить договор с любым обратившимся к ней потребителем, расположенным в границах ее зоны деятельности. Стоимость предоставляемой ею электроэнергии рассчитывается как цена покупки на оптовом рынке, увеличенная на величину сбытовой надбавки. При этом гарантирующие поставщики имеют льготный (четырёхлетний) срок для приведения систем коммерческого учета в соответствие с требованиями договора о присоединении к торговой системе оптового рынка, на них не распространяются количественные требования, предъявляемые к участникам оптового рынка.

С 2003 по 2005 гг. произошло разделение на регулируемый и свободный рынок, на первом из них энергия продавалась по фиксированным тарифам. С 1 сентября 2005 г. торговля осуществляется по регулируемым двусторонним договорам, цены в которых регулируются Федеральной службой по тарифам. Часть электроэнергии (во втором полугодии 2007 г. — 25%) разрешается продавать по свободным ценам. В 2005 г. регулируемые договоры заключались до окончания года. Начиная с 2007 г. продавцам и покупателям оптового рынка предоставлено право заключать долгосрочные регулируемые договоры (от одного года). Торговля по нерегулируемым ценам осуществляется на рынке свободных двусторонних договоров и рынке «на сутки вперед». В Законе «Об электроэнергетике» предполагается, что правительство устанавливает тарифы на календарный год (в законе о «Федеральном бюджете»), индексируя их на величину прогнозируемой инфляции. При этом ремонтные работы, закупки топлива приходится на лето, что увеличивает риски для генерирующих компаний. Кроме того, выделен рынок мощностей: до этого потребители оплачивали 85% издержек эксплуатации мощностей и стоимость электроэнергии в одном тари-

фе. Создана специальная интернет-площадка b2b-energo.ru для проведения аукционов и конкурсов генерирующими компаниями.

Мощности, принятые в эксплуатацию после 2007 г., автоматически участвуют в рынке по нерегулируемым ценам. Вывод энергетических мощностей из эксплуатации должен согласовываться с уполномоченным федеральным органом исполнительной власти, который может потребовать от собственника, желающего вывести мощность из эксплуатации, отложить такой вывод на срок не более двух лет в случае, если это угрожает возникновением дефицита на оптовом рынке электроэнергии. Чтобы компенсировать компаниям расходы, взимается плата за мощность даже вне зависимости от работы этих мощностей у генерирующей компании.

Государство продолжает регулировать тарифы на электрическую и тепловую энергию, поставляемую в условиях отсутствия конкуренции (для изолированных энергосистем), цены на услуги по обеспечению системной надежности, на услуги администратора торговой системы, тарифы на тепловую энергию, плату за технологическое присоединение к электрическим сетям, бытовые надбавки гарантирующих поставщиков.

В соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2007 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» происходит создание системы добровольных технических стандартов (около 300), призванных заменить обширную документацию, оставшуюся в наследие от советского периода и дополненную в 1990-е гг. (только в НТД вошло около 1800 документов). Это позволит разделить требования по безопасности и качеству продукции, хотя не во всех случаях: среди экспертов преобладает мнение о необходимости более полного включения существующих требований. Система подтверждения соответствия остается неизменной.

В 2005 г. была принята «Инвестиционная программа холдинга РАО «ЕЭС России» на 2005–2010 годы» в размере 3 099 920 млн руб., при этом государственное финансирование составляло всего 6,8%, хотя в первые годы его доля значительно выше. В последующие годы намечалось финансировать инвестиции за счет сторонних инвесторов и продажи активов, но на аукционах получены меньшие средства, чем предполагалось. В результате государственные инвестиции увеличиваются, при том что размах программы огромен. Инвестиционная программа направлена на переоборудование и расширение ТЭС и ГЭС, расширение существующей системы линий электропередач. Из-за

кризиса Инвестиционная программа была скорректирована. Следует также отметить, что необходимо строительство страховочных ГЭС (и плотин), таких как Курейская, для уменьшения колебаний уровня воды в реках, вызванных расположенными выше по течению станциями. Поскольку экономическая целесообразность таких проектов неоднозначна, привлекается государственное финансирование.

Для вступления на рынок третьих лиц — новых генерирующих компаний нужно получить согласие уже существующих, при этом за все годы реформы ни одной новой генерирующей компании не появилось.

В 2010 г. для МРСК были введены тарифы на принципе возвратности сделанных вложений, что привело к росту уровня цен и корректировке поведения генерирующих компаний. Затем действие тарифов было изменено в сторону сдерживания роста цен, что привело сначала к резкому росту инвестиций в инфраструктуру, а затем к их снижению.

Введение нерегулируемого рынка электроэнергии вызвало сокращение доходов энергосбытовых компаний (так как генерирующие компании предпочитают заключать долгосрочные контракты с крупными потребителями) при незначительном уменьшении затрат. В результате в целях компенсации доходов компании прибегают к повышению тарифов для домохозяйств и мелкого и среднего бизнеса. Так как уровень доходов большинства домохозяйств невысок, то рост тарифов приводит к задержкам выплат и неплатежам.

Таким образом, добиться поставленной цели не удалось: несмотря на значительные финансовые вложения, инвестиций оказалось недостаточно, более того, государство вынуждено осуществлять их значительную часть. При этом не были учтены интересы многих экономических агентов, что привело как к ошибочным прогнозам о спросе на электроэнергию, так и к распределению бремени издержек на потребителей (цены росли и продолжают расти). Вмешательство государства остается непредсказуемым: введение тарифов на принципе возвратности сделанных вложений, изменение этих тарифов, не предусмотренных планом реформы, заявления весной 2011 г. президента и премьер-министра об ограничениях на рост цен, экспансия государственных компаний («ИНТЕР РАО ЕЭС»). Наконец, российское государство попыталось создать неолиберальный рынок, требующий постоянного и квалифицированного государственного вмешательства (при том что ряд проблем, с которыми столкнулись и которые частично решили

европейские страны, еще только начинает рассматриваться), хотя ресурсов для этого у него недостаточно.

Источники

1. *Баширов Э.Т.* Новые правила рынков электроэнергии: влияние на экономику региона // Регионоведение. 2008. № 2. С. 141–143.
2. *Беляев Л.С.* Проблемы электроэнергетического рынка (развитие представлений о свойствах больших систем энергетики) // Шестые Мелентьевские чтения: сб. науч. трудов. М.: ИНЭИ РАН, 2009. С. 90–115.
3. *Беляев Л.С., Подвальников С.В.* Рынок в электроэнергетике: проблемы развития генерирующих мощностей. Новосибирск: Наука, 2004.
4. Инвестиционная программа холдинга РАО «ЕЭС России» на 2005–2010 годы. URL: www.rao-ees.ru
5. Международный опыт реформирования электроэнергетики: Англия и Уэльс. URL: <http://www.rao-ees.ru/ru/reforming/foreign/mo/England.pdf>
6. Уроки, извлеченные из либерализации рынков электроэнергии. МЭА, 2005. URL: http://www.iea.org/russian/pdf/ElectricityMarket_Russian.pdf
7. *Hunt S.* Making Competition Work in Electricity. N.Y.: John Wiley, 2002.
8. <http://www.rao-ees.ru/ru/reforming>

© Сеницын М.В., 2012

О.В. Телякова

Научный
руководитель —
С.В. Бровчак

Кафедра
управления рисками
и страхования

Обзор пенсионной системы Норвегии: до, во время и после реформы

В обзорной статье предлагается характеристика пенсионной системы Норвегии до реформы 2001–2009 гг. и во время ее проведения. Изложены основные результаты проведенной реформы с акцентом на ее положительные и отрицательные последствия. Делается обзор перспектив пенсионной системы Норвегии, а также основных проблем, с которыми предположительно столкнется норвежское общество, двигаясь по пути дальнейшего реформирования пенсионной системы.

За последние 10 лет пенсионная система Норвегии пережила значительные изменения. Начало процесса реформирования было положено в 2001 г. с созывом специальной Пенсионной комиссии, в задачи которой входило проанализировать существующую на тот момент пенсионную систему и разработать предложения по ее совершенствованию. Подробный доклад был представлен Комиссией к 2004 г. Весной 2009 г. стортинг одобрил и принял положения, характеризующие новую пенсионную систему, и она была запущена в действие.

Основными элементами нововведения стали: новая модель аккумулирования пенсионных взносов, теоретически обоснованные расчеты возраста дожития и величины страховых взносов, возможность планировать уход на пенсию после 62 лет, а также новые правила индексации пенсий.

С целью контроля будущих затрат Национальной страховой системы Норвегии (NIS) по выплате пенсий по старости Комиссией было предложено отойти от распределительной системы пенсионного обеспечения, которая предполагала достаточно слабую связь между трудовыми доходами пенсионеров и размером получаемой ими пенсии. Вместо распределительной системы планировалось использовать так называемый квазиактуарный подход, позволяющий элиминировать эффекты роста продолжительности жизни населения. Так, вместе с

планируемым снижением объема пенсионных льгот было предложено стимулировать предложение на рынке труда [1].

Пенсионная система Норвегии до реформы

Когда в Норвегии в 1967 г. была введена действующая до реформы 2001–2009 гг. пенсионная система, одного пенсионера в среднем «обеспечивали» четыре работающих гражданина. В 2008 г. этот показатель снизился в среднем до 2,7 на одного пенсионера. По прогнозам Статистического управления Норвегии¹, без проведения реформы к 2050 г. уже лишь двое работающих в среднем обеспечивали бы одного пенсионера [8].

В 2001 г., когда была создана Пенсионная комиссия, пенсионная система Норвегии основывалась на выплате тех пособий, права на которые работающий человек «приобретал» в процессе своей трудовой деятельности. Для подсчета объема данных пособий использовалась величина *BPU* (Basic Pension unit)² — некая базовая сумма, позволявшая определять величину индивидуальной пенсии с учетом инфляции и уровня роста экономики.

Пенсия (*PB*) состояла из базовой пенсии (*BP*) и специального дополнения к пенсии (*SS*) (или дополнительной пенсии (*SP*), в зависимости от того, что из них было больше). Таким образом:

$$PB = BP + \max(SS; SP). \quad (1)$$

Таблица 1 описывает принципы исчисления размеров базовой пенсии и специального дополнения к пенсии по старости для гражданина Норвегии, в зависимости от его социального положения по дореформенной пенсионной системе 2002–2009 гг. При этом всем пенсионерам была гарантирована минимальная пенсия в размере $BP + SS$.

Размер дополнительной пенсии устанавливался на основе величины доходов в период трудовой деятельности. Трудовой заработок лица в возрасте от 17 до 69 лет ежегодно переводился в так называемые «пенсионные очки», *PP*, которые подсчитывались с использованием величины *BPU* соответствующего года:

¹ Официальный сайт Статистического управления Норвегии. URL: <http://www.ssb.no/en/>

² В 2006 г. *BPU* составляла около 62 161 норвежских крон, что приблизительно равнялось 7500 евро.

Таблица 1. Начисление пенсии по старости в Норвегии до 2009 г.

Женат (замужем)	Супруг (супруга) также пенсионер	Размер базовой пенсии	Размер специального дополнения	Размер минимальной пенсии
+	+	0,85BPU	0,7933BPU	1,6433BPU
-	-	1BPU		1,7933BPU

$$PP = \begin{cases} 0, & I < BPU; \\ \frac{I - BPU}{BPU}, & BPU \leq I < 6BPU; \\ \frac{5 + (I - 6BPU)}{BPU}, & 6BPU \leq I < 12BPU; \\ 7, & I \geq 12BPU, \end{cases} \quad (2)$$

где I — годовой трудовой доход.

Итоговое количество «пенсионных очков», FPP , подсчитывалось как среднее 20 самых больших положительных величин PP . Количество лет, в течение которых зарабатывались «пенсионные очки», PPY , являлось количеством лет, в течение которых доходы лица превышали соответствующую величину BPU . В результате размер дополнительной пенсии рассчитывался следующим образом:

$$SP = SPR \cdot \frac{\min(PPY; 40)}{40} \cdot BPU \cdot FPP, \quad (3)$$

где SPR — предельное отношение величины пенсии к величине заработной платы.

Описанная система представляла собой следующее: лицо, ежегодный доход которого превосходил величину $12BPU$, не имело права на получение дополнительной пенсии. Данное обстоятельство серьезно ослабляло связь между доходами работающего человека и величиной причитающейся ему пенсии. В дополнение к этому для получения полной пенсии гражданину обязательно было приобрести 40 лет трудового стажа, а стимулов он имел лишь на 20.

Что касается пенсионного возраста, официально он был установлен на уровне 67 лет. Тем не менее успешно действовала схема раннего ухода на пенсию (AFP), которая позволяла в общей сложности 60% работающего населения уйти на пенсию в 62 года. Данная схема

работала при поддержке не только профсоюзов и работодателей, но и государства. Участник схемы AFP получал субсидии в виде льготного налогообложения, а также возможность увеличить основу для будущей пенсии в течение срока, оставшегося до исполнения 67 лет. Таким образом, видно, что граждане при выходе на пенсию не имели особенно серьезных проблем, поскольку ощущали на себе значительную поддержку государства и работодателей [2].

Предпосылки реформы пенсионной системы

По прогнозам Управления статистики Норвегии общее количество людей в возрасте 67 лет удвоится к 2050 г. по сравнению с 2009 г. Растущая доля пожилых приведет к резкому росту расходов государства на пенсионное обеспечение. Нагрузку на бюджет увеличит еще и предполагаемый рост среднего размера пенсии относительно среднего размера заработной платы, что является непосредственным результатом функционирования дореформенной пенсионной системы. Растущая доля женщин в общей численности рабочей силы в целом повлияет на рост размеров пенсионных выплат «новым» пенсионерам по сравнению с пенсиями, выплачиваемыми ранее.

Прогнозы говорят о том, что в рамках старой, дореформенной пенсионной системы расходы на содержание пенсионеров и инвалидов должны были возрасти с 9% ВВП в 2009 г. до 18% ВВП в 2050 г. Старение населения неизбежно влекло не только увеличение размера пенсионных выплат, но и изменения в бюджетах структур здравоохранения и социального обеспечения [9].

В таких условиях пенсионная реформа и другие меры, стимулирующие пожилых людей продолжать трудовую деятельность в течение как можно более длительного времени, не только облегчили бы процесс финансирования пенсионных выплат, но и помогли поддерживать систему здравоохранения и социального обеспечения на должном уровне.

Одним из недостатков дореформенной системы было то, что люди с одинаковыми доходами могли получать различные по величине пенсии, в то время как граждане, имеющие сильно отличающиеся доходы, получали пенсию одинакового размера. Причина тому, как уже говорилось, слабая связь между доходами работающего и величиной его пенсии.

Система AFP (раннего выхода на пенсию) покрывала лишь 60% работающего населения, в то время как остальные 40% вообще не имели возможности досрочного получения пенсии по старости (толь-

ко по инвалидности). На этом фоне у 60% работающего населения отсутствовал стимул продолжать трудовую деятельность после 62 лет, так как уходя с работы в 62 года или 66 лет, человек получал одинаковую по размеру пенсию.

Завершающим «слабым звеном» дореформенной пенсионной системы являлось полное отсутствие актуарной оценки процедуры, устанавливающей пенсионный возраст на уровне, превосходящем 67 лет [4].

Действующая пенсионная система Норвегии

По введенным в 2009 г. нормам пенсионного законодательства для получения полной пенсии по старости гражданину Норвегии необходимо работать и получать заработную плату в стране, как и до реформы, не менее 40 лет.

Пенсионный возраст в Норвегии оставлен на уровне 67 лет, *однако если лицо предпочтет продолжить трудовую деятельность после 67, оно имеет право зарабатывать себе на пенсию вплоть до 70 лет*. Граждане в возрасте от 16 до 66 лет включительно, безвыездно находящиеся в стране не менее трех лет, имеют право на получение минимальной пенсии, которая состоит из базовой части и специального дополнения. Если стаж работы гражданина от 40 лет и более, он имеет право на получение еще и дополнительной пенсии. Все составляющие изменяются пропорционально времени, в течение которого гражданин Норвегии получал в стране заработную плату [10].

Базовая часть пенсии рассчитывается на основе страхового периода и не зависит от дохода лица или уплаченных им взносов в Национальную страховую систему.

Объем большого количества социальных пособий, выплачиваемых в рамках Национальной страховой системы³, определяется с ис-

³ Национальная страховая система является краеугольным камнем страхования в Норвегии. Большинство людей, живущих или работающих в стране, независимо от национальной принадлежности являются участниками Национальной страховой системы. Данная система является гарантом экономической безопасности для своих участников.

Участники Национальной страховой системы имеют право на получение пенсии по старости, пенсии по инвалидности и иждивенческой пенсии. Кроме того, предусмотрены компенсации в связи с производственными травмами, а также другие выплаты и пособия (см. The Norwegian Social Insurance Scheme. Survey. Norwegian Ministry of Labour. January 2010. P. 4).

пользованием величины « G »⁴, которая на 1 января 2010 г. составила 72 881 норвежскую крону ($\approx 5829,55$ евро).

Гражданин имеет право на получение дополнительной пенсии, если его годовой доход в течение трех лет превосходил любое среднее годовое значение G после 1966 г. Максимальное количество «пенсионных очков»⁵ присваивается лицам с годовым доходом до $6G$. Далее, $1/3$ дохода в сумме между 6 и $12G$ считается доходом с правом на пенсию за период расчета. Ежегодный доход, превышающий $12G$, не рассматривается.

Итак, размер дополнительной пенсии определяется на основе количества лет, в течение которых лицо получало доход с правом на пенсию, а также ежегодного количества «пенсионных очков». Как правило, для получения дополнительной пенсии в полном объеме необходимо проработать 40 лет. Для лиц, имеющих трудовой стаж менее 40 лет, дополнительная пенсия уменьшается пропорционально трудовому стажу [3].

Большое количество пожилых людей не могут заработать себе на дополнительную пенсию в полном объеме. Поэтому введена система специальных временных схем для граждан, которые родились до 1937 г. Основным условием участия в таких схемах является завершение страхового периода до 1967 г. Кроме того, ежегодный доход данных лиц не должен превышать $5G$.

В процессе выплат участвует Норвежский общественный пенсионный фонд, хотя существует огромная разница между пособиями, предоставляемыми Фондом, и пособиями, предусмотренными Национальной страховой системой. Первое важное отличие состоит в том, что членство в Фонде должно быть обязательно подкреплено наличием рабочего места. Лишь те граждане Норвегии, которые работают (или работали) в сферах, связанных с деятельностью Фонда, имеют право на получение его социальных выплат. Таким образом, главной целью выплат Фонда является обеспечение собственных работников дополнительными пенсиями. Работники Фонда оказываются в лучшем экономическом положении, чем те граждане, которые получают пенсию лишь в рамках Национальной страховой системы.

⁴ G — «Folketrygdens grunnbeløp», так называемая минимальная пенсионная основа. Рассчитывается парламентом Норвегии исходя из изменений общего уровня доходов населения. Обычно расчет величины G осуществляется 1 мая. По материалам Министерства труда Норвегии (URL: <http://www.regjeringen.no>), в 2009 г. среднее значение величины G составило 70 006 норвежских крон ($\approx 5599,58$ евро). По информации из того же источника на 1 января 2010 г. $G = 72 881$ норвежской кроне ($\approx 5829,55$ евро).

⁵ При расчете дополнительной пенсии используется система Creclit — «пенсионных очков», рассчитываемых на основе объема получаемого дохода.

Пенсионеры, имеющие дополнительную пенсию малого размера или вовсе ее не имеющие, могут получить специальное дополнение к своей пенсии. Данное дополнение выплачивается в полном объеме, если страховой период составляет 40 лет. Уменьшение страхового периода пропорционально уменьшает размер специального дополнения к пенсии.

Суммарно дополнительная пенсия и специальное дополнение к ней не должны быть меньше $1,94G$. Данное правило распространяется и на граждан, состоявших в браке или имеющих общих детей.

При налогообложении пенсий по старости действуют следующие нормы. Если доход пенсионера ниже определенного минимума, данное лицо освобождается от уплаты налога на доход, а также страхового взноса. Если пенсионер получает доход, превосходящий определенный минимум, сумма налога на доход и страхового взноса не должны превышать 55% получаемого пенсионером дохода. Данная категория пенсионеров также имеет право на налоговый вычет, который в 2010 г. составил примерно 5423 норвежские кроны ($\approx 433,77$ евро). В дополнение к этому пенсионеры уплачивают страховые взносы в меньшем размере, чем работающие граждане [11].

В рамках новой пенсионной системы продолжает функционировать система AFP. Важно отметить, что для участия в программе лицо обязательно проработать в одной и той же организации не менее трех последних перед выходом на пенсию лет (или быть участником программы AFP не менее пяти лет). Более того, на момент выхода на пенсию ежегодный доход лица должен быть равен текущей величине G , либо превышать ее, годовая заработная плата лица — как минимум равна величине G на протяжении 10 или более лет с момента достижения лицом возраста 50 лет. Ежегодный доход в течение самых успешных для лица десяти лет за период с 1967 г. до года, предшествующего году выхода на пенсию, должен быть равен как минимум $2G$ или превосходить эту величину.

Финансирование Национальной страховой системы осуществляется посредством взносов со стороны работающих по найму, индивидуальных предпринимателей, работодателей, а также государства. Размер взносов определяется парламентом. Расчет взносов наемных работников и индивидуальных предпринимателей осуществляется на основе объема доходов с правом на пенсию. Если размер такого дохода составляет менее 39 600 норвежских крон ($\approx 3167,49$ евро), взносы в рамках Национальной страховой системы не уплачиваются. В свою очередь, взносы не должны превышать 25% от дохода [5].

Взносы для наемных работников составляют 7,8% от дохода с правом на пенсию (валовой заработной платы), для индивидуальных предпринимателей — 11% от дохода с правом на пенсию (дохода от предпринимательской деятельности). Размер взносов для других видов личного дохода составляет 3%.

Взносы со стороны работодателей рассчитываются исходя из выплачиваемой заработной платы. На их размер влияет и местоположение предприятия. Существуют региональные зоны, различаемые по географическому и экономическому признакам. Размер взносов работодателей в этих зонах варьируется от 0 до 14,1%.

По итогам 2009 г. объемы затрат Национальной страховой системы составили 289 172 млн норвежских крон (\approx 23 130 млн евро). Эта сумма составляет около 34% от государственного бюджета и Национального страхового бюджета вместе взятых и 12,4% от ВВП. В 2009 г. государство перечислило в Национальную страховую схему 72 332 млн норвежских крон (\approx 5786 млн евро), что составило 25% от ее общих затрат⁶.

Результаты проведенной пенсионной реформы

Одной из целей проведенной пенсионной реформы являлось укрепление финансовой устойчивости Национальной страховой системы и увеличение фактического пенсионного возраста. По этим причинам новая пенсионная система Норвегии базируется на модели с установленными взносами. Реформа установила гибкий возраст выхода на пенсию, начиная с 62 лет. При этом размер будущей пенсии зависит от ежегодных трудовых доходов (и индексируется по отношению к среднему трудовому доходу пенсионера). Размер страховых взносов рассчитывается на основе предположений о продолжительности жизни на момент выхода на пенсию и составляет 18,1% от годового трудового дохода, но не может превышать 517 455 норвежских крон (\approx 42 397 евро) в год. Данная схема обеспечивает коэффициент замещения 54% от среднего за 40 лет работы трудового дохода. До выхода на пенсию размер будущих пенсионных выплат индексируется в зависимости от получаемой заработной платы, а после выхода на пенсию индексация происходит пропорционально 3/4 среднегодового заработка. Граждане, уже получившие статус пенсионера, могут продол-

⁶ По материалам Министерства труда Норвегии. URL: <http://www.regjeringen.no>

жать работу как на полную ставку, так и на полставки с сохранением всех положенных пенсионных пособий.

Новая пенсионная система охватит население постепенно. Так, когорта рожденных в 1954 г. будет участвовать во вновь введенной схеме лишь на 10%, в то время как граждане 1962 г. рождения — на 90%. Анализ дореформенной пенсионной системы позволял спрогнозировать затраты на пенсионное обеспечение граждан в 2050 г. в объеме 14% от ВВП, тогда как подсчеты 2010 г. наглядно показывают, что вновь введенная пенсионная система позволит снизить данные расходы к 2050 г. до 11% ВВП [6; 12].

Реформа предусматривает внесение частичных изменений и в систему раннего выхода на пенсию. В настоящее время Стортинг рассматривает вопрос о работе граждан пенсионного возраста в компаниях, участвующих в программе AFP. Предлагается заменить фиксированное пособие, выплачиваемое гражданам, досрочно вышедшим на пенсию, на пожизненную доплату к пенсии по старости, которая будет индексироваться в зависимости от размера трудового дохода до выхода на пенсию и пропорционально сумме среднегодового дохода за вычетом 0,75% — после выхода на пенсию. Нововведение постепенно охватит все население, рожденное в период с 1944 по 1962 г. С 2011 по 2050 г. государство планирует потратить на новую программу 95 млрд норвежских крон ($\approx 7598784194,53$ евро).

Внедряемая в Норвегии с 2009 г. новая пенсионная система стала первым шагом на пути стимулирования работающего населения к отсрочке выхода на пенсию по старости. После долгих лет подготовки пенсионная реформа в 2010 г. набирала обороты, хотя ее осуществление в полной мере должно было происходить лишь в 2011 г. Хотя процесс реформирования в целом шел без видимых проблем, для его завершения необходимо разрешить еще целый ряд противоречивых ситуаций: в частности, требует адаптации к новым условиям система раннего выхода на пенсию, кроме того, не полностью охвачены реформой работники бюджетных учреждений.

Система раннего ухода на пенсию в частном секторе давала для его сотрудников огромные стимулы не продолжать трудовую деятельность после 62 лет. В 2008 г. было достигнуто соглашение, в рамках которого большинство работников, достигших 62 лет, стали иметь право лишь на надбавку к пенсии, размер которой зависит от трудового дохода и индексируется по мере продолжения лицом своей трудовой деятельности. Государство согласилось финансировать одну треть такой схе-

мы, остальное финансируется частным работодателем. На фоне договоренности 2008 г. рождаются надежды на то, что работники частного сектора проявят инициативу продолжать трудовую деятельность по достижении 62 лет, хотя надежды эти слабые, и требуется дальнейшая адаптация системы раннего выхода на пенсию к целям пенсионной реформы.

По стандартам ОЭСР в Норвегии коэффициент замещения для работников с низким уровнем дохода остается достаточно высоким, хотя этот уровень ниже, чем в других странах ОЭСР. После первого года проведения пенсионной реформы коэффициент замещения в экономике в целом снизился меньше, чем в других странах ОЭСР, проводящих пенсионные реформы, даже для лиц с высокими доходами. С одной стороны, это положительный эффект. С другой стороны, на фоне роста ВВП и доходов работающего населения предложение на рынке труда за счет увеличения продолжительности трудовой деятельности может снизиться, так как люди будут уходить на пенсию достаточно рано и в твердой уверенности, что разница между прошлым трудовым доходом и причитающейся пенсией невелика [7].

Пока не приходится говорить о видимом положительном эффекте, который вновь введенная пенсионная система оказывает на уровень жизни населения Норвегии, но постепенно, на фоне продолжающейся тенденции старения населения, перераспределение расходов на пенсионное обеспечение между государством, гражданами и работодателями, несомненно, принесет желаемые плоды в виде снижения нагрузок на бюджет и повышения устойчивости пенсионной системы в целом.

Источники

1. *Christensen A.M., Fredriksen D., Lien O.C., Stulén N.M.* Pension Reform in Norway. 2009.
2. NAV. New National Insurance Retirement Pension. More flexible for you (English version). 2010. URL: <http://www.nav.no>
3. NAV EURES. Living and Working in Norway. Arbeids-og Velferdsdirektoratet. Oslo. 2007.
4. NAV. New National Insurance: Retirement Pension. 2010.
5. OECD Publishing. OECD Economic Surveys: Norway. March 2010. Vol. 3.
6. OECD Publishing. Private Pensions Outlook. 2008.
7. OECD Publishing. Making Reform Happen — Lessons From OECD Countries. 2010.

8. Pensions at a Glance 2009: Retirement — Income Systems in OECD Countries. Online country profiles, including personal income tax and social security contributions. URL: <http://www.oecd.org/els/social/pensions/PAG>

9. *Stensnen K., Holmøy E.* Will the Norwegian Pension Reform Reach its Goals? Discussion papers No. 557. Statistics Norway, research Department. 2008.

10. *Stensnen K., Stølen N.M.* Norwegian Pension Reform: Effects on Fiscal Sustainability, Labour Supply and Equity. Preliminary version. 2007.

11. The Norwegian Public Service Pension Fund. Official site. URL: <http://www.spk.no/English>

12. The Norwegian Social Insurance Scheme. Survey. Norwegian Ministry of Labour. 2010.

© Телякова О.В., 2012

О.В. Телякова

Научный
руководитель —
С.В. Бровчак
Кафедра
управления рисками
и страхования

Практические вопросы взаимодействия негосударственных пенсионных фондов и коммерческих банков в части исполнения условий депозитных договоров по инвестированию средств пенсионных резервов

В статье раскрываются основные направления практической реализации рисков во взаимоотношениях негосударственных пенсионных фондов и коммерческих банков на основе депозитных договоров. Систематизируются подходы к предупреждению и устранению последствий реализации рисков. Суммируется опыт, полезный при разработке инвестиционной стратегии негосударственного пенсионного фонда.

Согласно действующему законодательству в части возможностей негосударственных пенсионных фондов по размещению средств пенсионных резервов ограничение на инвестирование лишь через управляющую компанию отсутствует. Это значит, что негосударственные пенсионные фонды могут размещать средства пенсионных резервов самостоятельно. В этой статье речь пойдет о проблемах практического характера, с которыми сталкиваются негосударственные пенсионные фонды при установлении отношений с коммерческими банками на основе депозитных договоров.

Самостоятельное размещение пенсионных резервов в депозиты и депозитные сертификаты является одной из важных составляющих инвестиционной стратегии негосударственного пенсионного фонда. При

таком размещении можно прогнозировать получение стабильного дохода в краткосрочной и среднесрочной перспективе при минимальных рисках. Если, к тому же, со стороны фонда будет обеспечен необходимый контроль за принимаемыми банком решениями, сотрудничество может обрести форму долгосрочного с вытекающими отсюда выгодами для фонда процентными ставками и большими оборотами.

Законодательство разрешает негосударственным пенсионным фондам самостоятельно размещать средства пенсионных резервов в депозиты и депозитные сертификаты банков — участников системы страхования вкладов, ограничивая объем такого размещения 80% от портфеля пенсионных резервов при размещении в одном банке не более 25% пенсионных резервов [1].

Практика показывает, что банки охотно идут на заключение депозитных договоров, на основании которых негосударственные пенсионные фонды размещают средства пенсионных резервов. Как уже было сказано, инвестиционные риски таких сделок невелики, и особое внимание в отношениях «банк — фонд» следует уделить рискам другого рода, а именно операционным. Данные риски возникают ввиду того, что негосударственный пенсионный фонд — довольно специфическая структура, регулируемая особыми законодательными актами. К сожалению, в нашей стране институциональное понимание роли негосударственных пенсионных фондов в социальной жизни общества находится в зачаточном состоянии. Не сложилось пока и четкого представления о том, каким образом фонды имеют право вести дела со своими контрагентами: почему для негосударственных пенсионных фондов недопустимы нормы, общепринятые для других финансовых институтов. Более того, тонкости функционирования фондов и различные аспекты специфики их активов особо не популяризируются ни среди широких общественных масс, ни среди финансовых и других организаций, обеспечивающих функционирование экономики в стране. В связи с таким положением дел и возникают ситуации, в которых фонд не по своей вине предстает в виде нарушителя закона перед разного рода контролирующими органами, такими как специализированный депозитарий и ФСФР.

Операционные риски, о которых мы начинаем разговор, в дальнейшем трансформируются в другие виды рисков: кредитные риски; риски невыполнения обязательств; риски ликвидности; риски, связанные с возникновением конфликта интересов; стратегические и регуляторные риски, которые реализуются в виде смешения имущества

фонда на одном расчетном счете (ПР и ИОУД), что законодательством не допускается [3]; приводят к образованию нежелательной кредиторской и дебиторской задолженности в портфеле ПР, рассчитанном на конец месяца и служащем основанием для составления оперативного отчета в ФСФР, а также к другим последствиям [4].

Практический опыт позволяет стандартизировать подход к управлению описанными рисками, а также к элиминированию последствий реализации рисков с наименьшими потерями времени, денег и сил при рассмотрении узкого круга вопросов и проблем, связанных с инвестированием средств пенсионных резервов фонда в банковские депозиты и депозитные сертификаты.

1. Предотвращение будущих проблем

Одним из функциональных способов страховки от реализации вышеописанных рисков, независимо от конкретных форм ее проявления (о чем речь пойдет ниже), является установление договоренности с представителем банка, обслуживающем данный депозитный договор с негосударственным пенсионным фондом, о так называемой *сверке* сумм начисленных процентов и процентов к выплате по итогам расчетного периода. Такая сверка может быть реализована посредством обмена, например, по электронной почте, расчетами сумм процентов, произведенных фондом независимо от банка. При выявлении разногласий они проясняются, стороны приходят к консенсусу, и в день начисления (выплаты) процентов условия депозитного договора не нарушаются.

Здесь необходимо сказать несколько слов о том, почему возникают проблемы при расчете сумм процентов к начислению (выплате).

Если ставка процента по депозиту зависит от ставки рефинансирования центрального банка, при изменении первой могут появиться разногласия по поводу даты изменения ставки рефинансирования. Если банк по каким-либо причинам изменит процентную ставку днем раньше или позже срока, прописанного в договоре, по итогам расчетного периода образуется дебиторская или кредиторская задолженность.

Подобная задолженность по итогам расчетного периода может возникнуть и в момент частичного отзыва денежных средств с депозита (пополнения депозита) (при наличии у негосударственного пенсионного фонда такой возможности) и неверного учета даты снятия (зачисления) денежных средств.

Сверку с банком можно производить лишь при условии, что в негосударственном пенсионном фонде имеется сотрудник, ведущий непрерывный расчет сумм начисленных процентов. Такие полномочия, например, можно делегировать службе внутреннего контроля, которая и договорится с банком о дате сверки для обмена расчетами.

Если банк в лице своего сотрудника, курирующего договор с фондом, отказывается осуществлять сверку, это лишь говорит о том, что культура взаимоотношений банка с негосударственными пенсионными фондами находится на стадии своего становления и разного рода нюансы еще не продуманы и практически не закреплены. Хотя наличие сверки и не является решающим фактом, ее отсутствие может послужить для фонда предпосылкой проблем и неточностей, а при серьезных разногласиях, носящих периодический и длительный характер, иногда проще досрочно расторгнуть договор, чем нести крупные трансакционные издержки. Однако в долгосрочной перспективе сотрудничества, безусловно, выработаются четкие принципы совместной работы, которые в будущем позволят осуществлять взаимодействие в автоматическом режиме.

Тем не менее следует подробно остановиться на практических проблемах, которые возникают ввиду еще не оформившихся принципов взаимодействия «фонд — банк».

2. Образование кредиторской задолженности

Когда в расчет процентов берется больше дней, чем следует по договору, сумма процентов по окончании расчетного периода превышает сумму, которая в действительности должна быть перечислена на счет негосударственного пенсионного фонда. Если банк все-таки перечисляет данную сумму, образуется кредиторская задолженность фонда перед банком, что незамедлительно отмечается специализированным депозитарием на основе анализа движения расчетного счета. В данной ситуации негосударственному пенсионному фонду целесообразно как можно скорее вернуть разницу процентов на счет банка с одновременным письменным уведомлением банка и специализированного депозитария. В этом случае наличие письменного ответа банка о готовности принять деньги обратно необязательно, так как для фонда важно скорейшее разъяснение ситуации специализированному депозитарию и избежание выставления нарушения с его стороны.

При оперативной реакции фонда кредиторская задолженность найдет свое отражение лишь в расчете стоимости чистых активов на дату образования кредиторской задолженности [2], однако зачастую этим дело не ограничивается, так как расчетный период большинства заключаемых депозитных договоров равен одному месяцу или одному кварталу: фонд получает платежное поручение банка на следующий день после реальной операции выплаты суммы процентов на расчетный счет фонда, а это уже начало следующего месяца. Таким образом, в большинстве подобного рода ситуаций образовавшаяся кредиторская задолженность находит свое отражение как минимум в оперативной отчетности, а может отразиться и в квартальной.

Существуют и другие практические риски, результатом реализации которых является возникновение кредиторской задолженности фонда. Например, нередки ситуации, когда банк при подсчете начисленных процентов не учитывает день изменения ставки рефинансирования ЦБ РФ по депозитным договорам с процентной ставкой, зависящей от ставки рефинансирования. При неправильном разграничении периодов начисления процентов может возникнуть как дебиторская, так и кредиторская задолженность. При возникновении последней фонд может действовать так, как описано выше. О дебиторской задолженности речь пойдет ниже.

Когда обсуждаются проблемы, связанные с учетом ставки рефинансирования, стоит обратить особое внимание на пункт депозитного договора, который определяет порядок и сроки подсчета ставки депозита, зависящей от ставки рефинансирования. Смысл данного пункта часто бывает столь неоднозначен, что банк и фонд трактуют его по-разному, и оба оказываются правы. При наличии разногласий необходимо путем переговоров приходиться к общему знаменателю, что реализуется в дополнительном соглашении к договору, а лучше всего страховать от риска путем предварительного продумывания текста договора и моделирования всех возможных ситуаций, возникающих из-за различия в видении сторон.

3. Образование дебиторской задолженности

Дебиторская задолженность у фонда возникает при реализации следующих выявленных на практике ситуаций.

1. При отсутствии сверки начисленных банком процентов происходит перечисление ошибочной суммы на расчетный счет фонда.

Ошибки, как уже было сказано, могут возникнуть из-за неверного учета величины расчетного периода, а также быть связаны с изменением ставки рефинансирования ЦБ РФ. В этом случае фонду целесообразно письменно запросить у банка перечисления недостающей суммы в кратчайшие сроки, и направить копию письма в специализированный депозитарий.

При согласовании депозитного договора не лишним будет включить пункт о взимании с банка неустойки в расчете на каждый день просрочки в перечислении суммы начисленных процентов. Данный пункт договора послужит страховкой для фонда в ситуации реализации описанного риска, но все же возникающие задолженности могут иметь свое отражение в уведомлениях о нарушениях, представляемых специализированным депозитарием в адрес фонда.

2. Еще одной практической возможностью образования дебиторской задолженности у фонда может являться факт просрочки выплаты банком суммы начисленных процентов, и если ранее говорилось о просрочке выплаты части суммы (недоначислении), то сейчас речь идет об отсутствии денег на расчетном счете фонда в день, когда банк должен был перечислить рассчитанную по договору сумму процентов. В данной ситуации фонду необходимо письменно уведомить банк о требовании перечислить сумму процентов с направлением копии письма в специализированный депозитарий. Практика показывает, что если ситуация непечисления процентов в срок однажды имела место, она повторится в будущем неоднократно, и руководству фонда следует задуматься о продолжении отношений с банком, нарушающим условия депозитного договора: это позволит не лишиться фактического дохода в расчетном периоде.

4. Риски, связанные со смешением средств пенсионных резервов и имущества для обеспечения уставной деятельности фонда

Негосударственный пенсионный фонд вправе самостоятельно размещать средства пенсионных резервов (ПР) и имущество для обеспечения уставной деятельности (ИОУД) на депозиты в одном банке с заключением разных депозитных договоров. При этом смешение средств ПР и ИОУД законодательно недопустимо [3]. Нередки ситуации, когда фонд заключает несколько депозитных договоров на иму-

щество разного типа с одним банком. В этих условиях возможна реализация рисков, связанных с тем, что по итогам расчетного периода суммы процентов на имущество ИОУД перечисляются на счет имущества ПР, и наоборот. Данный факт имеет место на практике, несмотря на то что в реквизитах фонда в разных депозитных договорах указаны разные расчетные счета для перечисления сумм процентов.

При реализации риска смешения имущества необходимо востребовать с банка письмо, содержащее требование считать сумму, переведенную на счет ИОУД (ПР) суммой, переведенной на счет ПР (ИОУД). Данное письмо, сопровождаемое требованием фонда осуществить переброску денежных средств между двумя расчетными счетами, направляется фондом в банк, в котором у фонда открыт расчетный счет. Если расчетные счета ПР и ИОУД открыты фондом в одном банке, переброска практически осуществляется на следующий день, между разными банками — в срок до трех дней. Отношения со специализированным депозитарием оформляются в зависимости от направления образовавшейся задолженности в письменной форме.

Описанная ситуация может быть усугублена следующим сценарием. Банк, в котором фондом открыт депозит, без осуществления сверки перечисляет недостаточную сумму, например, на счет ИОУД. При сообщении банку об ошибке он днем позже перечисляет остаток на счет ПР. Каждое нарушение в таком случае необходимо оформлять документально и предоставлять разъяснения в специализированный депозитарий.

5. Реализация других рисков

Завершающим в перечне рисков, реализующихся в практике отношений НПФИ и банка, являются риски невозврата в срок частично истребованной фондом суммы банковского депозита (при наличии зафиксированной в депозитном договоре возможности частичного отзыва средств). Данная ситуация наименее болезненно из всех перечисленных отражается на фонде, за исключением случаев, когда отзываемые средства планируется реинвестировать в другие активы, а образующийся временной лаг ведет к появлению упущенной выгоды. Страховаться от данной ситуации поможет оговорка о сумме неустойки за просрочку платежа, зафиксированная в депозитном договоре, на что необходимо обратить внимание до его подписания.

6. Ошибки в первичных документах

На практике существуют и другие ситуации, когда разного рода задолженности образуются искусственно. Например, когда специализированный депозитарий не согласует факт выплаты суммы процентов, если в назначении платежа платежного поручения допущена ошибка. Она может относиться как к периоду, за который выплачиваются проценты, так и к наименованию договора, по которому данные проценты выплачиваются. Таким образом, при контроле исполнения банком своих обязательств перед фондом службе внутреннего контроля необходимо обращать особое внимание на оформление платежного поручения, так как из-за наличия временного лага, присущего документообороту, ошибка замечается позднее того момента, до которого ее можно было исправить.

В завершение хотелось бы сказать о редком, но встречающемся случае, когда ошибки возникают при составлении депозитной выписки, которая является для фонда первичным документом. На практике такая ситуация может сложиться, например, при исполнении договора с капитализацией процентов: из расчета вытекает одна сумма процентов, причитающихся фонду по итогам расчетного периода, а при формировании депозитной выписки по итогам расчетов за несколько периодов банк указывает другую сумму. В этой ситуации поможет лишь тщательный контроль, а фонд вправе самостоятельно вырабатывать стратегию дальнейших действий, безусловно, оформив все документально и незамедлительно представив результаты в специализированный депозитарий.

Если фонд вовремя не заметил ошибки, помимо потери денег, он вовлекается в долгие споры со специализированным депозитарием, на вопросы которого зачастую нет быстрого и убедительного ответа. Контроль в данном случае играет главную роль и является страховкой от неприятных последствий.

Тщательный контроль со стороны фонда за действиями контрагентов не только уберезет фонд от получения предписаний со стороны контролирующего органа, но и сохранит возможность получения запланированного дохода в намеченные сроки. Это, в свою очередь, позволит строить более точные стратегии управления доходностью инвестирования средств пенсионных резервов, что является залогом привлечения новых клиентов и процветания фонда. Особую роль здесь играет деятельность службы внутреннего контроля как главно-

го надзорного органа за деятельностью лиц, чьи действия прямо или косвенно влияют на финансовый результат фонда.

Поскольку размещение средств пенсионных резервов в депозиты является консервативным, но достаточно надежным и доходным способом инвестирования, контроль над развитием взаимоотношений «фонд — банк» должен являться неотъемлемой частью следования инвестиционной стратегии фонда в краткосрочной и долгосрочной перспективах.

Источники

1. Постановление Правительства РФ от 1 февраля 2007 г. № 63 «Об утверждении Правил размещения средств пенсионных резервов негосударственных пенсионных фондов и контроля за их размещением». П. 13, абз. 14, 15.

2. Правила расчета рыночной стоимости активов, в которые размещены средства пенсионных резервов, и совокупной рыночной стоимости пенсионных резервов негосударственного пенсионного фонда, утвержденные приказом Федеральной службы по финансовым рынкам от 8 июня 2010 г. № 10-37/пз-н. П. 2.

3. Федеральный закон от 7 мая 1998 г. № 75-ФЗ «О негосударственных пенсионных фондах». Ст. 8, п. 2.

4. OECD/ IOPS Good Practices for Pension Funds' Risk Management Systems. January 2011.

© Телякова О.В., 2012

И.К. Чернышева

Научный
руководитель —
О.А. Демидова
Кафедра
математической
экономики
и эконометрики

Минимизация расходов на выявление ВИЧ-инфицированных методом группового тестирования

Традиционная для экономики задача оптимального распределения ограниченных ресурсов представляется актуальной и применительно к государственному расходу на здравоохранение. Поэтому в данной статье мы стараемся найти способ сократить издержки медицинских обследований на такое социально значимое заболевание, как ВИЧ, при помощи метода группового тестирования, который предполагает проверку сразу нескольких индивидов при помощи одного реактива и уже несколько десятков лет успешно применяется в западной практике. Но поскольку у метода есть свои недостатки, связанные с ошибками диагностики, в работе предлагается вариант модификации этого метода, нацеленный одновременно на повышение точности результатов и снижение издержек обследования.

Проблема выявления инфицированных

XX век принес немало болезней, которые, к сожалению, с наступлением века XXI не ушли в прошлое. Несмотря на споры об особенностях диагноза, достоверности тестов, разграничении фаз заболевания, все сходится на том, что ВИЧ/СПИД является чрезвычайно опасным и актуальным заболеванием, так как панацеи от него не найдено, а эпидемия продолжает распространяться все более высокими темпами. В ужас приводит статистическая информация: примерно 471 676 инфицированных ВИЧ на 31 декабря 2008 г. [7]. И если вакцина от СПИДа до сих пор не найдена, то все те, кто сейчас находится на стадии ВИЧ, скоро перейдут к финальной стадии. Картина становится еще более трагичной, если учесть, что «на сегодняшний день в России подавляющее большинство людей, живущих с ВИЧ/СПИДом, находятся в наиболее экономически и репродуктивно активном возрасте (81% ВИЧ-положительных людей моложе 30 лет)» [3].

Нельзя упускать из виду и тот момент, что не все добровольно проходят проверку на ВИЧ, а значит, некоторым ВИЧ-инфицированным диагноз не поставлен, и они не подозревают, что больны. А ведь, по оценкам многих специалистов, самая высокая вероятность заразить окружающих приходится на раннюю фазу заболевания, когда человек еще не знает о своей болезни.

Есть и другая крайность: некоторые категории населения, напротив, проходят регулярный тест на ВИЧ (например, медицинские работники всех уровней, доноры крови, беременные женщины), хотя уровень распространенности ВИЧ у последних ниже среднего. Такая диспропорция в выборке обследованных искажает реальные данные, и если на ее основе оценивать процент ВИЧ-инфицированных по стране, мы получим смещенную, заниженную оценку.

Итак, очевидно, что кто-то проходит тест несколько раз, а кто-то, либо просто не заботясь о своем инфекционном статусе, либо не зная о том, что законодательно за каждым закреплено право пройти бесплатный тест на ВИЧ [6, ст. 7, п. 7], — ни разу. Диспропорцию легко продемонстрировать на простом примере: пенсионер, страдающий от гипертонии и имеющий низкий риск оказаться ВИЧ-инфицированным, проходит тест на ВИЧ и вирусные гепатиты при каждой госпитализации, в то время как молодой человек вообще не будет длительное время обращаться за медицинской помощью, хотя у него риск оказаться инфицированным опасными заболеваниями, передающимися половым путем, гораздо выше, чем у лиц пенсионного возраста.

Получается, что расходы на такие избирательные медицинские обследования неэффективны. Часть государственных денег, например на обследования пенсионеров, в том числе повторные, на диагностику беременных женщин, которые сдают кровь на ВИЧ по три раза в течение шести-семи месяцев, тратится впустую. Реальное число заболевших при такой методике формирования выборки обследуемых не выявляется.

Метод группового тестирования и его модификации

Возникает естественное желание повысить экономическую эффективность медицинских обследований, т.е. минимизировать издержки и при этом увеличить охват обследуемых. Решить такую задачу можно с помощью метода группового тестирования. Данный метод предпо-

лагают, что проверке подвергается не каждый потенциальный носитель вируса в отдельности, а группы, сформированные из подлежащих проверке индивидов. Пробы крови нескольких человек смешиваются в одной пробирке, и эта «групповая» смесь подвергается анализу. В случае, когда антитела к вирусу не обнаружены, предлагается утверждать, что все члены группы здоровы. Если же тест дает положительный результат, то мы вынуждены продолжить стандартную индивидуальную проверку, тестируя каждого человека по отдельности.

Впервые идея группового тестирования была предложена Робертом Дорфманом в 1943 г. и опробована при проверке солдат в армии США на сифилис. В статье «Выявление зараженных представителей в больших популяциях» Дорфман пытается, основываясь на априорно известном проценте заболевших, подсчитать, каков оптимальный размер группы обследуемых и какова будет экономия от группового метода по сравнению с индивидуальным [9, р. 437].

Восприняв идею Дорфмана, многие ученые пытались применить ее в самых разных областях: от тестирования батареек [20], электрических лампочек и герметичности контейнеров [18] до выявления пиратских файловых копий [13]. Особенно широкое применение данный метод нашел в медицинской практике для проверки крови на гепатит С, сифилис, ВИЧ-1 и ВИЧ-2 и мочи на хламидиоз и гонорею. В США методика группового тестирования для проверки донорской крови на ВИЧ официально одобрена FDA¹ в 2002 г. [17].

Когда появился метод группового тестирования, эпидемии ВИЧ еще не было, даже вирус не был открыт. Однако с обнаружением этого опасного заболевания возникла идея обследовать всю популяцию, и притом с минимальными расходами. Метод группового тестирования в данных условиях, казалось, подходил идеально. Но, применяя его для диагностики ВИЧ-инфекции, медики столкнулись с трудностями: к сожалению, тесты на ВИЧ не всегда гарантируют точный результат, что ограничивает возможность их применения. Поэтому возникла потребность в разработке варианта группового тестирования, который учитывал бы несовершенства реактивов и медицинских технологий.

¹ The FDA (Food and Drug Administration) — подразделение Департамента здоровья и социальных услуг США, ответственное за проверку безопасности лекарственных средств, биологических продуктов, медицинских приборов и т.п. URL: <http://www.fda.gov/>

Исследования по данной тематике проводятся до сих пор и публикуются в таких журналах, как «The Annals of Mathematical Statistics», «Technometrics», постоянно обновляется база работ по этой теме на сайте американского журнала «The Journal of Sexually Transmitted Diseases». Новая волна исследований, начавшаяся на рубеже тысячелетий, сосредоточена на выявлении случаев заражения на ранних стадиях.

Мы попытаемся, во-первых, учесть возможные ошибки теста, а во-вторых, отойти от идеи расчета оптимального объема группы, обследуемой одним тестом, в соответствии с априорной вероятностью и предложить новый механизм группового тестирования.

Отметим, что существует несколько способов диагностики крови на ВИЧ. Все они различаются не только механизмом реакции на компоненты вируса, но и ориентацией на определенную фазу заболевания, а главное, такими статистическими показателями, как специфичность и чувствительность. *Чувствительность* представляет собой долю положительных результатов теста в группе больных пациентов, в то время как *специфичность* — долю отрицательных результатов теста в группе здоровых пациентов. Таким образом, первое число показывает, какой процент больных, а второе — какой процент здоровых определен тестом верно.

Самый распространенный тест заключается в выявлении **наличия антител**, которые вырабатываются организмом в ответ на появление вируса, и называется иммуноферментным анализом (ИФА), или (модифицированный вариант) твердофазным ИФА (ELISA). Чуть более сложный и по статистике более чувствительный тест — Western blot (разновидность иммунного блота, или иммуноблотинга (ИБ)) — основан на выявлении **отдельных компонентов антител**. Здесь некоторые белки антигена к ВИЧ выявляются с вероятностью 100% (оболочечно-клеточный белок gp160 и белок группоспецифического гена p25), а некоторые — с вероятностью всего 38,8% (p15) [1, с. 33, 296], поэтому многое зависит от того, какой именно вирусоспецифический белок мы выявляем. Наиболее точным методом диагностики ВИЧ считается полимеразная цепная реакция (ПЦР), исследующая **РНК вируса**.

При этом на некоторых стадиях (в частности, на финальной, когда организм настолько ослаблен, что антитела не вырабатываются, равно как и в первые недели после заражения, в так называемый «период окна», т.е. когда антитела еще не появились) тест дает ложноотрицательный результат. Именно поэтому значительная часть недавних работ по теме сосредоточена на выявлении только что инфицированных

(«the acute HIV infection») и рассматривает тест, который более чувствителен к недавнему заражению, так как основан на многочисленном повторении компонент РНК, — так называемый NAAT (Nuclear Acid Amplification Test).

Существует и проблема ложноположительных результатов. Она имеет место, когда тест принимает за антитела к ВИЧ другие антитела, например, при обследовании пациентов с хроническими инфекционными, аутоиммунными и онкологическими заболеваниями.

Конечно, процент ошибок теста зависит и от его типа, т.е. от принципа, на котором он основан. Вообще существует несколько тестов, позволяющих выявить ВИЧ по анализам крови. Однако если ПЦР редко ругают за ложноположительные результаты, то тесты ELISA и Western blot в некоторых исследованиях критикуют именно за это. Целая волна работ, начавшаяся в Америке в 1993 г. со статьи австралийских ученых под названием «Является ли тест “western blot” доказательством ВИЧ-инфекции?» [22], утверждает, что стандартные тесты на ВИЧ (ELISA, Western blot) не показывают ровным счетом ничего. А положительные результаты чаще всего возникают из-за того, что тест реагирует не на антитела к ВИЧ, а на что-то другое.

Конечно же, мы не сможем исследовать эффективность расходов на тесты, если согласимся с Гиральдо [11], де Харвен [12] и Пападопулос-Элеопулос [22]. Мы будем придерживаться мнения большинства ученых, которые считают, что тесты с высокой точностью диагностируют заболевание. Хотя не забудем и о том, что для каждого вида теста характерны определенные проблемы неточной идентификации.

Наша задача — уйти от учета специфичности и чувствительности конкретного теста и выйти за рамки одного теста, проведя обследование с помощью нескольких независимых тестов. Однако мы по-прежнему не станем касаться косвенных расходов на обследования, а будем совершенствовать методику сокращения только прямых издержек, точнее, их наиболее очевидной составляющей — стоимости реактивов.

В своем исследовании мы отталкиваемся от новейшей разработки в групповом анализе на ВИЧ — так называемого алгоритма T2+, основанного на «матричной схеме группировки». В этом случае имеют место как минимум две проверки каждой группы. Метод, описанный в работе Бетани Хэт и Марсельо Паганьо, опубликованной в 2008 г., устроен следующим образом: все пробирки с групповыми пробами крови располагаются в квадрате, и в дальнейшем часть содержимого

каждой пробирки попадает в пробирку, собравшую кровь по столбцу, а часть — в пробирку, собравшую кровь по строке. Если тесты «совершенны» (теоретически), то мы можем объявить зараженными те группы, которые показали по строке и столбцу положительный результат, а неинфицированными — те, что показали отрицательный результат дважды. Инфицированные группы дальше проверяются индивидуально. Те же группы, которые по одному направлению характеризует «+», а по другому «-», подвергаются проверке алгоритмом T2+ повторно. И так, не перепроверяются только те пробы, которые дважды показали отсутствие антител. Во всех остальных случаях пробы перепроверяются.

Новый метод группового тестирования: теоретическая схема

Оценивая издержки по простой дорфмановской схеме, исследователи считают, что тесты совершенны. Когда мы использовали международную систему HIV/AIDS Surveillance Data Base для выявления факторов, повышающих риск индивида оказаться ВИЧ-инфицированным, мы столкнулись с той же проблемой. Лишь незначительная часть (6%) наблюдений в нашей выборке подвергалась повторному тестированию, и, к сожалению, при анализе данных по заболеваемости нам тоже пришлось полагаться на референтную переменную status как на истину в последней инстанции. Хотя полагаться на такие сведения весьма рискованно.

Однако, чтобы учесть несовершенство тестов и не стопроцентную точность результатов, считаем целесообразным проводить не однократное, а двукратное или трехкратное тестирование сразу и предлагаем новый алгоритм проверки. По сравнению с однократным тестированием такое решение однозначно повысит стоимость обследования, но в то же время позволит снизить вероятность ошибочного результата. Механизм матричного группирования, при котором каждый индивид в составе группы подвергался как минимум двум тестам, был подробно описан в работе [14]. Ложноположительный результат получить практически невозможно, так как все показавшие «+/-», равно как и все показавшие «+/+», перепроверяются как минимум еще один раз. В схеме Хэт и Паганьо не подвергаются перепроверке лишь результаты, классифицированные как «-/-», но ведь именно ложноотрицательных результатов мы хотели бы избежать. Понятно, что авторы

разрабатывали данную методику применительно к тесту NAAT, обладающему высокой специфичностью по сравнению с другими тестами на антитела, а значит, вероятность двух ложноотрицательных тестов для индивида сводилась к нулю.

Именно потому, что проверка по двум направлениям производилась одним и тем же тестом, авторы не брали в расчет стоимости теста, а следовательно, минимальное количество проверок по строкам и столбцам достигалось бы при расположении обследуемых в квадрате. Хэт и Паганьо, однако, аргументируют выбор квадрата «простотой» и лишь упоминают, что данная «методика может быть легко распространена и на прямоугольник» [14, р. 6].

Хотелось бы разработать схему, которая не только будет применима к тестам NAAT, но и позволит проводить перекрестные исследования различными тестами. Не будем забывать, что различные медицинские тесты приспособлены для выявления заболевания на разных его стадиях. Например, NAAT — на ранних, ПЦР изначально разрабатывался для уточнения диагноза у детей, а ELISA и Western blot — на стадиях, когда выработка антител уже началась или еще не прекратилась. При этом стоимость различных тестов, а порой и одного и того же теста в зависимости от производителя может быть неодинаковой. Таким образом, попробуем включить в задачу оптимизации расходы на проведение каждого теста.

Мы будем проводить три независимых теста, отличающихся как по медицинским показателям, так и по стоимости затрачиваемых реактивов и используемого оборудования. Стоимость первого теста обозначим c_1 , второго — c_2 , третьего — c_3 . Обследуемых пациентов, каждый из которых будет проходить тест три раза в разных группах, можно представить как точки в трехмерном пространстве с координатными осями x , y и z . Каждая точка будет характеризоваться тремя координатами. Другими словами, все пациенты будут расположены в параллелепипеде со сторонами, обозначенными соответственно α , β и γ и расположенными вдоль координатных осей x , y и z .

Наша задача, таким образом, сводится к нахождению длин сторон параллелепипеда, которые обеспечивают объем параллелепипеда, позволяющий вместить всю выборку из n пациентов, а кроме того, минимизировать стоимость обследования. Поскольку мы проверяем каждого индивида не отдельно, а в группах по направлениям, которые задаются координатными осями, площадь каждой из трех разных сторон будет соответствовать необходимому количеству тестов кон-

кретного вида. Например, по строкам в направлении z мы проверяем тестом, стоимость которого равна c_1 . Поскольку в этом направлении $\alpha\beta$ строк, нам будет необходимо провести $\alpha\beta$ (площадь одной из грани параллелепипеда) тестов первого типа. Тогда тестов второго типа (в направлении y) следует провести $\alpha\gamma$, а тестов третьего типа (в направлении x) — $\beta\gamma$. Получается, что минимизировать необходимо $\varphi(\alpha, \beta, \gamma) = \alpha\beta c_1 + \alpha\gamma c_2 + \beta\gamma c_3$, при ограничении $\alpha\beta\gamma \geq n$.

Значит, задачу можно формализовать следующим образом:

$$\begin{cases} n \leq \alpha\beta\gamma, \\ \alpha\beta c_1 + \alpha\gamma c_2 + \beta\gamma c_3 \rightarrow \min. \end{cases}$$

Выпишем функционал Лагранжа: $L = \alpha\beta c_1 + \alpha\gamma c_2 + \beta\gamma c_3 - \lambda(abc - n)$ и соответствующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dL}{d\alpha} = \beta c_1 + \gamma c_2 - \lambda\beta\gamma = 0, \\ \frac{dL}{d\beta} = \alpha c_1 + \gamma c_3 - \lambda\alpha\beta = 0, \\ \frac{dL}{d\gamma} = \alpha c_2 + \beta c_3 - \lambda\beta\gamma = 0, \\ \frac{dL}{d\lambda} = n - \alpha\beta\gamma = 0. \end{cases} \quad (0^*)$$

Преобразуем систему следующим образом:

$$\begin{cases} \beta(c_1 - \lambda\gamma) + \gamma c_2 = 0, \\ \alpha(c_1 - \lambda\gamma) + \gamma c_3 = 0, \\ \alpha(c_2 - \lambda\beta) + \beta c_3 = 0, \\ n = \alpha\beta\gamma \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \beta = \frac{\gamma c_2}{(\lambda\gamma - c_1)}, & (1^*) \\ \alpha = \frac{\gamma c_3}{(\lambda\gamma - c_1)}, & (2^*) \\ \alpha = \frac{\beta c_3}{(\lambda\beta - c_2)}, & (3^*) \\ n = \alpha\beta\gamma. & (4^*) \end{cases}$$

Теперь подставим выражение (1*) в (3*):

$$\begin{aligned}
\alpha &= \frac{\beta c_3}{(\lambda\beta - c_2)} = \frac{\gamma c_2}{(\lambda\gamma - c_1)} \cdot \frac{c_3}{\left(\lambda \cdot \frac{\gamma c_2}{(\lambda\gamma - c_1)} - c_2\right)} = \\
&= \frac{\gamma c_2}{(\lambda\gamma - c_1)} \cdot \frac{c_3}{\left(\frac{\lambda\gamma c_2}{(\lambda\gamma - c_1)} - \frac{c_2(\lambda\gamma - c_1)}{(\lambda\gamma - c_1)}\right)} = \frac{\gamma c_2}{(\lambda\gamma - c_1)} \cdot \frac{c_3}{\left(\frac{\lambda\gamma c_2 - \lambda\gamma c_2 + c_1 c_2}{(\lambda\gamma - c_1)}\right)} \quad (5^*) \\
&= \frac{\gamma c_2}{(\lambda\gamma - c_1)} \cdot \frac{c_3}{\left(\frac{c_1 c_2}{(\lambda\gamma - c_1)}\right)} = \frac{\gamma c_2 \cdot c_3 \cdot (\lambda\gamma - c_1)}{(\lambda\gamma - c_1) \cdot c_1 c_2} = \frac{\gamma c_3}{c_1}.
\end{aligned}$$

Из (2*) и (1*) получаем, что

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\gamma c_3}{(\lambda\gamma - c_1)} \cdot \frac{\gamma c_2}{(\lambda\gamma - c_1)} = \frac{c_3}{c_2}. \quad (6^*)$$

Теперь преобразуем выражение (3*): $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{c_3}{(\lambda\beta - c_2)}$, приравняем к правой части уравнения (6*) и получим, что $\frac{c_3}{c_2} = \frac{c_3}{(\lambda\beta - c_2)}$, откуда $\frac{1}{c_2} = \frac{1}{(\lambda\beta - c_2)}$, а значит, $c_2 = \lambda\beta - c_2$. Получаем, что $\beta = \frac{2c_2}{\lambda}$.

Далее из (5*) выражаем $\frac{\gamma}{\alpha} = \frac{c_3}{c_1}$, а из уравнения (2*) в системе находим $\frac{\gamma}{\alpha} = \frac{c_3}{(\lambda\gamma - c_1)}$. Приравниваем правые части данных уравнений, откуда следует, что $\frac{c_3}{(\lambda\gamma - c_1)} = \frac{c_3}{c_1}$, а значит, $\frac{1}{(\lambda\gamma - c_1)} = \frac{1}{c_1}$ и $\lambda\gamma = 2c_1$. Тогда

$$\gamma = \frac{2c_1}{\lambda}. \quad (7^*)$$

Подставив (7*) во вторую строку системы (0*), получаем уравнение $\alpha c_1 + \frac{2c_1}{\lambda} c_3 - \lambda\alpha \frac{2c_1}{\lambda} = 0$, которое приводится к виду $\alpha c_1 + \frac{2c_1 c_3}{\lambda} - 2c_1 \alpha = 0$.

Далее получаем, что $\alpha c_1 = \frac{2c_1 c_3}{\lambda}$, а значит, $\alpha = \frac{2c_3}{\lambda}$.

Таким образом, система (0*) приводится к виду:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{2c_3}{\lambda}, \\ \beta = \frac{2c_2}{\lambda}, \\ \gamma = \frac{2c_1}{\lambda}, \\ n = \alpha\beta\gamma. \end{cases} \quad (0^{**})$$

Из последней строки системы (0**) получаем $\alpha = \frac{n}{\beta\gamma}$, что, используя вторую и третью строки, можно записать как $\alpha = n \cdot \left\{ \left(\frac{2c_1}{\lambda} \right) \left(\frac{2c_2}{\lambda} \right) \right\} = \frac{n\lambda^2}{4c_1c_2}$. Выражение $\alpha = \frac{2c_3}{\lambda}$ из той же системы равносильно $\lambda = \frac{2c_1}{\alpha}$, поэтому, подставив последнее в $\alpha = \frac{n\lambda^2}{4c_1c_2}$, получаем $\alpha = \frac{n\lambda^2}{4c_1c_2} = \frac{n \cdot \left(\frac{2c_3}{\alpha} \right)^2}{4c_1c_2} = \frac{4n \cdot c_3^2}{\alpha^2} = \frac{nc_3^2}{\alpha^2 c_1 c_2}$. Отсюда находим $\alpha^3 = \frac{nc_3^2}{c_1 c_2}$ и $\alpha = \sqrt[3]{\frac{nc_3^2}{c_1 c_2}}$.

Аналогичным образом получаем, $\beta = \sqrt[3]{\frac{nc_2^2}{c_1 c_3}}$ и $\gamma = \sqrt[3]{\frac{nc_1^2}{c_2 c_3}}$. Итак, мы нашли размеры параллелограмма, которые позволяют минимизировать издержки тестирования. Из системы (0*) видно, что при одинаковой стоимости каждого теста наша задача сведется к нахождению ребра куба. По той же причине матричная схема Хэт и Паганьо рассматривалась на квадрате.

Нам следует показать формально, что найденным значениям действительно соответствует минимум функции $\varphi(\alpha, \beta, \gamma) = \alpha\beta c_1 + \alpha\gamma c_2 + \beta\gamma c_3$.

Необходимо убедиться в том, что найденное решение обеспечивает минимум функции расходов. Поскольку вторые производные, очевидно, равны нулю, нам требуется дополнительное исследование, для того чтобы показать, что найденное решение на самом деле представляет собой минимум.

Выпишем окаймленную матрицу Гессе. Для трех параметров и одного ограничения окаймленный гессиан выписывается следующим образом:

$$\bar{H} = \begin{pmatrix} 0 & g_\alpha & g_\beta & g_\gamma \\ g_\alpha & Z_{\alpha\alpha} & Z_{\alpha\beta} & Z_{\alpha\gamma} \\ g_\beta & Z_{\beta\alpha} & Z_{\beta\beta} & Z_{\beta\gamma} \\ g_\gamma & Z_{\gamma\alpha} & Z_{\gamma\beta} & Z_{\gamma\gamma} \end{pmatrix}$$

Условием минимума функции при $m = 1$ ограничениях является следующее:

$$(-1)^m \cdot \det(\bar{H}) = (-1) \cdot \det(\bar{H}) > 0.$$

Для трех переменных p и ограничения m требуется исследовать $(p - m)$ главных миноров (Δ_3 и Δ_4). Необходимо показать, что окаймленная матрица Гессе положительно определена. Условие, которое обеспечивает положительную определенность матрицы, — ее детерминант должен быть отрицательным. Значит, требуется показать, что выполняются условия:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 0 & g_\alpha & g_\beta \\ g_\alpha & Z_{\alpha\alpha} & Z_{\alpha\beta} \\ g_\beta & Z_{\beta\alpha} & Z_{\beta\beta} \end{vmatrix} < 0$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 0 & g_\alpha & g_\beta & g_\gamma \\ g_\alpha & Z_{\alpha\alpha} & Z_{\alpha\beta} & Z_{\alpha\gamma} \\ g_\beta & Z_{\beta\alpha} & Z_{\beta\beta} & Z_{\beta\gamma} \\ g_\gamma & Z_{\gamma\alpha} & Z_{\gamma\beta} & Z_{\gamma\gamma} \end{vmatrix} < 0$$

Проверим это, подставив найденное решение. Ранее мы получили

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{nc_3^2}{c_1 c_2}}, \quad \beta = \sqrt[3]{\frac{nc_2^2}{c_1 c_3}} \quad \text{и} \quad \gamma = \sqrt[3]{\frac{nc_1^2}{c_2 c_3}}.$$

Параметр λ можно выразить как

$$\lambda = \frac{2c_3}{\alpha} = \frac{2c_3}{\sqrt[3]{\frac{nc_3^2}{c_1 c_2}}} = 2\sqrt[3]{\frac{c_1 c_2 c_3}{n}}.$$

Выпишем окаймленную матрицу Гессе:

$$\bar{H} = \begin{pmatrix} 0 & \beta\gamma & \alpha\gamma & \alpha\beta \\ \beta\gamma & 0 & c_1 - \lambda\gamma & c_2 - \lambda\beta \\ \alpha\gamma & c_1 - \lambda\gamma & 0 & c_3 - \lambda\alpha \\ \alpha\beta & c_2 - \lambda\beta & c_3 - \lambda\alpha & 0 \end{pmatrix}.$$

Подсчитаем значения элементов, соответствующих производным

по ограничению: $\beta\gamma = \sqrt[3]{\frac{n \cdot n \cdot c_2^2 \cdot c_1^2}{c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_3}} = \sqrt[3]{\frac{n^2 c_1 c_2}{c_3^2}}$; $\alpha\gamma = \sqrt[3]{\frac{n \cdot n \cdot c_3^2 \cdot c_1^2}{c_1 \cdot c_2 \cdot c_2 \cdot c_3}} =$
 $= \sqrt[3]{\frac{n^2 c_1 c_3}{c_2^2}}$; $\alpha\beta = \sqrt[3]{\frac{n \cdot n \cdot c_2^2 \cdot c_3^2}{c_1 \cdot c_2 \cdot c_1 \cdot c_3}} = \sqrt[3]{\frac{n^2 c_2 c_3}{c_1^2}}$.

Подсчитаем значения оставшихся элементов:

$$c_1 - \lambda\gamma = c_1 - 2\sqrt[3]{\frac{c_1 c_2 c_3}{n}} \cdot \sqrt[3]{\frac{nc_1^2}{c_2 c_3}} = c_1 - 2\sqrt[3]{\frac{c_1^3 c_2 c_3 n}{c_2 c_3 n}} = c_1 - 2c_1 = -c_1;$$

$$c_2 - \lambda\beta = c_2 - 2\sqrt[3]{\frac{c_1 c_2 c_3}{n}} \cdot \sqrt[3]{\frac{nc_2^2}{c_1 c_3}} = c_2 - 2\sqrt[3]{\frac{c_1 c_2^2 c_3 n}{c_1 c_3 n}} = c_2 - 2c_2 = -c_2;$$

$$c_3 - \lambda\alpha = c_3 - 2\sqrt[3]{\frac{c_1 c_2 c_3}{n}} \cdot \sqrt[3]{\frac{nc_3^2}{c_1 c_2}} = c_3 - 2\sqrt[3]{\frac{c_1 c_2 c_3^2 n}{c_1 c_2 n}} = c_3 - 2c_3 = -c_3.$$

Итак, окаймленный гессиан выглядит следующим образом:

$$\bar{H} = \begin{pmatrix} 0 & \sqrt[3]{\frac{n^2 c_1 c_2}{c_3^2}} & \sqrt[3]{\frac{n^2 c_1 c_3}{c_2^2}} & \sqrt[3]{\frac{n^2 c_2 c_3}{c_1^2}} \\ \sqrt[3]{\frac{n^2 c_1 c_2}{c_3^2}} & 0 & -c_1 & -c_2 \\ \sqrt[3]{\frac{n^2 c_1 c_3}{c_2^2}} & -c_1 & 0 & -c_3 \\ \sqrt[3]{\frac{n^2 c_2 c_3}{c_1^2}} & -c_2 & -c_3 & 0 \end{pmatrix}.$$

Тогда $\Delta_3 = 0 + (-c_1) \cdot \sqrt[3]{\frac{nc_1^2}{c_2c_3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_3}{c_2^2}} + (-c_1) \cdot \sqrt[3]{\frac{nc_1^2}{c_2c_3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{n^2c_2c_3}{c_2^2}} - 0 - 0 - 0 =$
 $= -\frac{2c_1^2n}{c_2} \cdot \sqrt[3]{c_1c_3}$, что в условиях нашей задачи (т.е. при положительной стоимости каждого теста и положительном числе обследуемых) всегда меньше нуля.

Рассмотрим

$$\Delta_4 = 0 + (-1)^{1+2} \cdot \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_2}{c_3^2}} \cdot \begin{vmatrix} \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_2}{c_3^2}} & \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_3}{c_2^2}} & \sqrt[3]{\frac{n^2c_2c_3}{c_1^2}} \\ -c_1 & 0 & -c_3 \\ -c_2 & -c_3 & 0 \end{vmatrix} +$$

$$+ (-1)^{1+3} \cdot \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_3}{c_2^2}} \cdot \begin{vmatrix} \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_2}{c_3^2}} & \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_3}{c_2^2}} & \sqrt[3]{\frac{n^2c_2c_3}{c_1^2}} \\ 0 & -c_1 & -c_2 \\ -c_2 & -c_3 & 0 \end{vmatrix} +$$

$$+ (-1)^{1+4} \cdot \sqrt[3]{\frac{n^2c_2c_3}{c_1^2}} \cdot \begin{vmatrix} \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_2}{c_3^2}} & \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_3}{c_2^2}} & \sqrt[3]{\frac{n^2c_2c_3}{c_1^2}} \\ 0 & -c_1 & -c_2 \\ -c_1 & 0 & -c_3 \end{vmatrix}$$

Обозначим ненулевые слагаемые выражения соответственно A , B и C . Вычислим значение каждого:

$$A = \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_3}{c_2^2}} \cdot c_2 \cdot c_3 + \sqrt[3]{\frac{n^2c_2c_3}{c_1^2}} \cdot c_1 \cdot c_3 - \sqrt[3]{\frac{n^2c_1c_2}{c_3^2}} \cdot c_3 \cdot c_3 =$$

$$= \left(\sqrt[3]{\frac{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2^3 \cdot c_3}{c_2^2}} + \sqrt[3]{\frac{n^2 \cdot c_1^3 \cdot c_2 \cdot c_3}{c_1^2}} - \sqrt[3]{\frac{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3^3}{c_3^2}} \right) \cdot c_3$$

$$= c_3 \cdot \left(2\sqrt[3]{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3} - \sqrt[3]{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3} \right) = c_3 \cdot \sqrt[3]{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3}.$$

Аналогично $B = c_2 \cdot \sqrt[3]{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3}$ и $C = c_1 \cdot \sqrt[3]{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3}$.

Подставляем полученные результаты в выражение для

$$\Delta_4 = 0 + (-1)^{1+2} \cdot \sqrt[3]{\frac{n^2 c_1 c_2}{c_3^2}} \cdot c_3 \cdot \sqrt[3]{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3} + (-1)^{1+3} \cdot \sqrt[3]{\frac{n^2 c_1 c_3}{c_2^2}} \cdot c_2 \cdot \sqrt[3]{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3} +$$

$$+ (-1)^{1+4} \cdot \sqrt[3]{\frac{n^2 c_2 c_3}{c_1^2}} \cdot c_1 \cdot \sqrt[3]{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3}.$$

Сделаем замену переменной $X = \sqrt[3]{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3}$. Тогда $\sqrt[3]{\frac{n^2 c_1 c_2}{c_3^2}} \cdot c_3 =$
 $= \sqrt[3]{n^2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3} = X$, $\sqrt[3]{\frac{n^2 c_1 c_3}{c_2^2}} \cdot c_2 = X$ и $\sqrt[3]{\frac{n^2 c_2 c_3}{c_1^2}} \cdot c_1 = X$, а значит, $\Delta_4 =$
 $= -X \cdot X + X \cdot X - X \cdot X = -X \cdot X = -X^2$. При любых X справедливо:
 $\Delta_4 < 0$.

Таким образом, мы исследовали знаки двух необходимых миноров и определили, что для любых положительных c_1, c_2, c_3 и n выполняется: $\Delta_3 < 0$ и $\Delta_4 < 0$. Следовательно, окаймленная матрица Гессе положительно определена. Это свидетельствует о том, что мы нашли локальный минимум функции издержек. Что и требовалось доказать.

Итак, в соответствии с полученным решением каждая ячейка теперь характеризуется тремя координатами, по каждой из которых ячейке присвоен статус «+» или «-». Поскольку для каждой координаты предусмотрены две возможности («+» или «-»), а всего координатных осей три, то вариантов может быть $2^3 = 8$. Иными словами, индивид по результатам тестирования может характеризоваться как (+;+;+), (+;+;-), (+;-+), (+;-;-), (-;+;+), (-;+;-), (-;-+), (-;-;-). Все ячейки, кроме (+;+;+) и (-;-;-), будем называть подозрительными, причем ячейки с плюсами по двум направлениям будут именоваться «очень подозрительными», а с одним плюсом — «не очень подозрительными».

Введем понятие сопряженных строк. *Сопряженные* относительно ячейки I_{xyz} строки — это расположенные вдоль координатных осей x, y и z строки, на пересечении которых находится ячейка I_{xyz} . Тогда *усеченными сопряженными строками* будем называть сопряженные

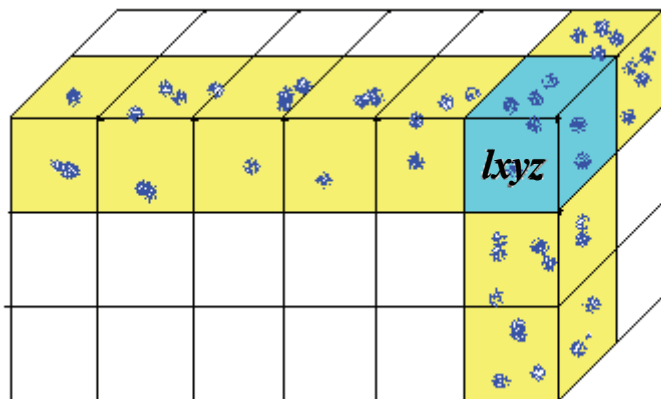


Рис. 1. Параллелепипед обследуемых

строки без ячейки l_{xyz} . На рис. 1 представлен искомый параллелепипед: ячейка l_{xyz} выделена голубым цветом, смежные строки — синими пятнами, а усеченные смежные строки — желтым цветом.

Классифицировать человека как незараженного можно будет по критерию $(-;-;-)$. Индивидов, получивших при обследовании характеристику $(-;-;-)$, мы больше не рассматриваем. Все остальные должны будут подвергнуться последовательной перепроверке. Очевидно, что начинать ее стоит с тех, чей статус сомнений почти не вызывает, т.е. получивших характеристику $(+;+;+)$. Усеченные сопряженные строки такой ячейки объединяются (сливаются в одну пробирку) и подвергаются перепроверке четвертым тестом. В случае «минусового результата» ячейка, находившаяся на пересечении сопряженных строк, характеризуется как инфицированная. Мы не перепроверяем саму ячейку, поскольку вероятность того, что три теста ошиблись, т.е. три раза выдали ложноположительный результат, стремится к нулю. Перепроверка нужна для того, чтобы показать, что другие ячейки сопряженных строк оказались «плюсовыми» не вследствие ошибки теста, допущенной в каждой из строк из-за сомнительной пробы в какой-то ячейке, а вследствие действительного наличия инфекции в ячейке l_{xyz} . На рис. 2 представлен пример тестирования с одной ячейкой $(+;+;+)$. Каждая сопряженная строка ячейки получила знак «+», все ячейки, составляющие смежные строки, имеют знак «+» по одному направлению.

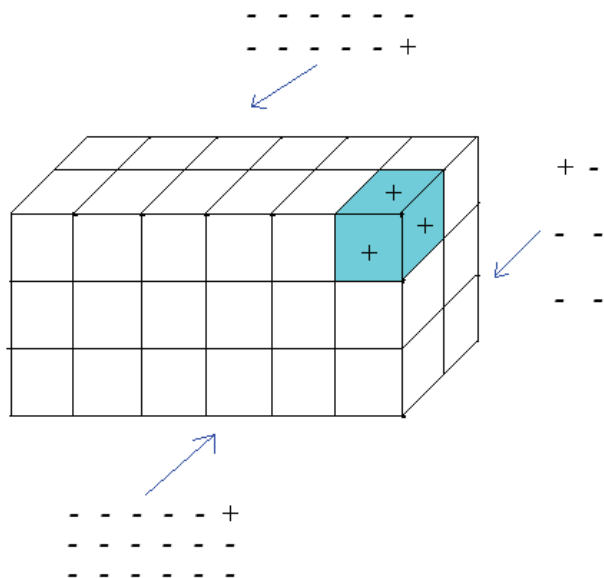


Рис. 2. Параллелепипед с зараженной ячейкой

Сформулируем условие замены. Если во всех ячейках, которые составляют сопряженные строки ячейки I_{xyz} , кроме самой I_{xyz} , получившей характеристику $(+;+;+)$, не более одного плюса и по результатам четвертого теста объединение этих ячеек дало отрицательный результат², то мы объявляем все элементы сопряженных строк неинфицированными, заменяя при дальнейшем исследовании ранее «плюсовую» координату «минусовой». Соответствующая замена представлена на рис. 3.

Такую замену мы будем проводить всегда, когда в сопряженных усеченных строках ячейки, на начальном этапе получившей статус $(+;+;+)$, все элементы имели не более одной «плюсовой координаты», а при перепроверке усеченные сопряженные строки получили отрицательный статус.

Итак, когда подтверждающий тест усеченных сопряженных строк ячейки I_{xyz} выдал отрицательный результат, перепроверке подвергает-

² Все ячейки одной сопряженной строки характеризуются как $(+;-;-)$, другой $(-;+;-)$, а третьей $(-;-;+)$.

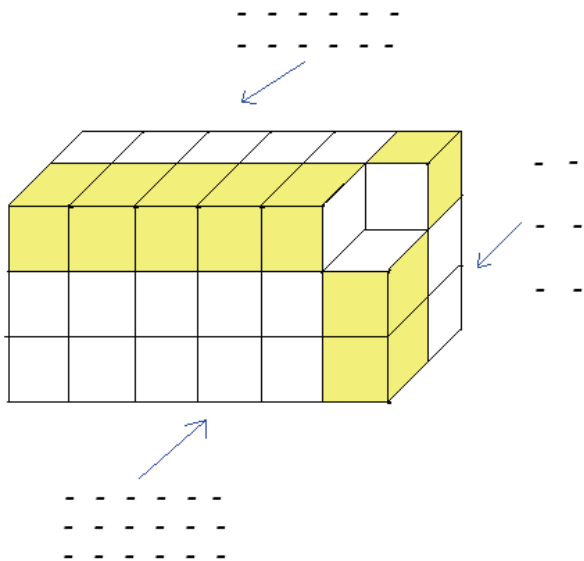


Рис. 3. Параллелепипед с исключенной ячейкой (+;+;+)

ся сама ячейка. По результатам перепроверки она классифицируется как инфицированная или неинфицированная. Таким образом, если ячейка в итоге оказывается неинфицированной, то мы списываем ранее полученный «+» на ошибку теста.

В случае, когда по объединению строк был получен положительный результат, мы переходим к индивидуальному исследованию усеченных сопряженных строк, а если какая-то из строк окажется «плюсовой» — то и ячеек, составляющих эту усеченную сопряженную строку. Кроме того, отдельно перепроверяется «подозрительная» ячейка.

Если же в сопряженных строках встречается более одного «+», то мы начинаем проверку с сопряженных строк, находящихся на пересечении наименее «подозрительных» ячеек. Так, перепроверяются сначала сопряженные строки (выделены красным на рис. 4) ячейки (+;+;-), которая представляется наименее «подозрительной», а затем и сама ячейка. Далее проверяются сопряженные строки (выделены зелеными пятнами) ячейки (+;+;+).

Таким способом мы перепроверяем объединенные сопряженные строки всех «подозрительных ячеек» и сами эти ячейки, начиная с «не

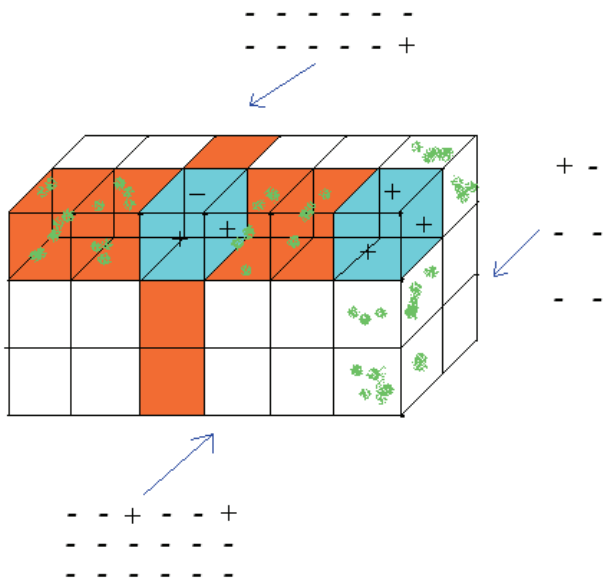


Рис. 4. Параллелепипед с двумя «подозрительными» ячейками

очень подозрительных», затем переходя к «очень подозрительным» и заканчивая ячейками. После каждой проверки, если выполнено условие замены, характеристика плюсового направления усеченной сопряженной строки меняется.

Получается, что последовательное исключение инфицированных ячеек позволяет нам сократить количество дальнейших перепроверок. Кроме того, именно последовательная перепроверка позволит избежать перепроверки тем же смешиванием в случайном порядке (но в группах меньшей численностью), которая предлагается матричными схемами и не учитывает результаты предыдущей проверки.

Отметим, что при высоком уровне распространенности инфекции может оказаться, что все ячейки получили статус (+;+;+). Тогда применение такой схемы, равно как и других алгоритмов группового тестирования, не имеет смысла. Тем не менее в популяциях с низким коэффициентом распространенности инфекции вполне уместно использование нашей схемы, поскольку за счет последовательной перепроверки дополнительное число необходимых тестов будет невелико.

Кроме того, мы сразу работаем с ячейками-индивидами, а не группами, что при результате (+;+;+) в ячейке сопряжено минимум с одним тестом (усеченных сопряженных строк), в то время как при проверке ячеек-групп приходится проводить не менее двух тестов для идентификации зараженного индивида. Процедура выделения инфицированного индивида, таким образом, оказывается в нашей схеме проще. Можно применять эту схему и при подтверждающих (confirmatory) тестах, если необходимо удостовериться, что полученные ранее «отрицательные» результаты действительно верны.

Практическое применение модели

Кроме того, мы, несомненно, на практике стремимся еще и повысить точность результатов. Чтобы сделать нашу схему наиболее практически эффективной, постараемся выбрать самые точные тесты. По результатам обследования в 17 штатах США минимальная чувствительность теста RAPID марки OraQuick составила 99,74% [25, p. 1664]. Тот же тест OraQuick стоимостью около 17,5 долл. одобрен FDA, о чем сообщает в отчете CDC [19]. Здесь же приводится чувствительность теста — 99,6%, при 100%-й специфичности. Другие марки теста RAPID стоят до 25 долл. Хотя этот тест самый быстрый (проведение занимает 20–40 мин.), он отнюдь не самый дешевый.

Что касается теста NAAT, также обладающего высокой чувствительностью (99,0% [16]), его точную стоимость выяснить не удалось. Но по некоторым данным, она составляет 37–50 долл. [8, p. 18] либо 49 долл. [10, p. 9].

Стоимость самого дорогого и сложного теста ПЦР — около 42 долл. [21, p. 466]. Считается, что чувствительность этого метода для взрослых более 99% («заявляемая чувствительность ПЦР-тест-систем “Hoffman — La Roche” для выявления провирусной ДНК ВИЧ-1 равна 99,9%» [2]), хотя при исследовании детей, рожденных от ВИЧ-инфицированных матерей, этот тест показал лишь «87,1%-ю чувствительность при специфичности 99,9%» [14].

Классический же Western blot, который можно провести за 4,5 часа, предлагается за 6,57 долл.³ (более быстрые тесты этого типа — 11,41 долл.

³ <https://www.vwrsp.com/literature/products/pdf/Thermo%20Pierce%20Fast%20Western%20Blot%20Flyer.pdf>

и 15,20 долл.). ELISA продается только партиями и оценивается либо в 197,99 долл. за 72 штуки⁴, либо в 1950 евро за 960 штук⁵, что примерно одинаково. Так что иммуноферментный анализ с помощью последнего теста обойдется в 2,75 долл. Однако мы знаем, что наибольшее количество споров вызывают именно тесты, выявляющие антигены, в частности ELISA и Western blot, поэтому исключим их из рассмотрения.

Рассчитаем параметры нашей модели. Возьмем для примера Архангельскую область, где по предварительным данным самый низкий процент инфицированных: среди 333 обследованных ($n = 333$) 15 зараженных. Выбрав три теста (NAAT, RAPID, ПЦР), положим их стоимость равной соответственно $c_1 = 50$, $c_2 = 25$, $c_3 = 42$. Результаты представлены в табл. 1, рассчитанной в Excel.

Таблица 1. Пример расчета минимальных расходов на обследование выборки из Архангельской области

	Длина стороны	C_1	C_2	C_3	N	Объем по округленным данным	Расходы при индивидуальном обследовании	Расходы с нерасальными данными	Минимальные расходы с округлением до целых
A	9,255467	25	42	50	333	345	38961	5396,811	5600
B	7,774592								
C	4,627733								
Areal	10								
Breal	7								
Creal	5								

Решения — длины сторон — получились нецелочисленные. Естественно, часто возникает проблема округления до целых чисел, поскольку N — натуральное. Тогда стороны параллелепипеда будем подбирать, перебирая возможные варианты округления, которые обеспечивают объем (см. графу «Объем по округленным данным») не

⁴ http://www.surgicalshop.com/laboratory_supplies/plasticware_elisa_assay_plates.html

⁵ <http://www.mabtech.com/Main/Articles.asp?CategoryId=192>

ниже N . Далее будем выбирать такую комбинацию «округленных» сторон Areal, Breal, Creal, которая обеспечит минимальные расходы при объеме параллелепипеда $n \geq N$. Затем следует провести тестирование по предложенному нами алгоритму.

Напомним, что сейчас мы вычислили минимальные расходы, позволяющие обследовать каждого из 333 человек тремя различными тестами. Дополнительные расходы появятся в случае, если в выборке обнаружатся зараженные индивиды и (или) некоторые тесты будут давать ложные результаты.

Стоимость индивидуальной проверки тремя тестами приведена в соответствующей графе таблицы. Она превышает минимальные расходы по нашей схеме более чем в 6 раз. Таким образом, в выборках с низким уровнем распространенности инфекции применение этой схемы позволит получить достоверные результаты при невысоких затратах.

Заключение

В исследовании нам удалось предложить новый метод группового тестирования. Данный метод, нацеленный на использование в популяциях с низким коэффициентом распространенности инфекции, может быть использован на практике для подтверждающих тестирований. Важно, что он позволяет оценить издержки обследования, основанного на нескольких видах тестов, которые имеют различную стоимость, что важно с экономической точки зрения, и, более того, различную природу, что чрезвычайно важно с позиций медицинского работника, поскольку именно комбинация разнообразных методов, особо чувствительных к разным фазам заболевания, позволяет провести точную диагностику. Ранее оптимизационные схемы, выдвигающие идею группового тестирования на первый план, не рассматривали возможность комбинировать тесты. Кроме того, очень важен тот факт, что мы ушли от идеи выполнения дальнейших расчетов исходя из априорно заданных вероятностей, которые подсчитаны на основе сомнительных, однократных проверок.

Мы оценили минимальную сумму, необходимую для обследования выборки из Архангельской области, по новой методике при помощи трех тестов марок RAPID, NAAT, Western blot. Конечно, логичным шагом было бы дальнейшее построение функции потерь (loss function) с учетом ошибок тестов для нашей модели. Но эта задача на данном этапе представляется достаточно сложной.

В работе мы не ставили цель определить так называемые неявные издержки заражения ВИЧ и дальнейшего распространения инфекции. Конечно, существуют и такие методики, которые подсчитывают убытки государства (сокращение ВВП) от того, что индивид не вышел на работу из-за болезни, травмы и т.п. На Западе такие работы появились уже давно. Так, например, в издании «American Journal of Public Health» еще в 1967 г. было предложено делить издержки, сопряженные с болезнью, на прямые и косвенные. Однако оценить их невозможно, поэтому целью большинства работ, равно как и данной, была минимизация самого очевидного компонента прямых издержек — расходов на реактивы.

Источники

1. Белозеров Е.С., Зимушко Е.И. ВИЧ-инфекция. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Питер, 2003.
2. Изучение чувствительности и специфичности отечественной ПЦР-тест-системы для диагностики ВИЧ-инфекции / К.А. Саркисян, Г.А. Шипулин, М.С. Воробьева и др. URL: http://www.pcr.ru/bibliogr/articles/article_7.htm
3. Информационный портал «Stop СПИД,РУ». URL: <http://www.stopspid.ru/>
4. Лагутин М.Б. Наглядная математическая статистика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.
5. Международная база данных HIV/AIDS Surveillance Database. URL: <http://www.hivaidsurveillance.org/>
6. Федеральный закон от 30 мая 1995 г. № 38-ФЗ «О предупреждении распространения в Российской Федерации заболевания, вызываемого вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ-инфекции)» (с изм.). URL: <http://femida.info/55/fzoprvtzvic002.htm>
7. Федеральный центр по профилактике и борьбе со СПИДом. URL: <http://www.hivrussia.org/>
8. Brinson M. Lab Experience with HIV RNA. NAAT. North Carolina State Laboratory of Public Health. 2009. P. 39.
9. Dorfman R. The Detection of Defective Members of Large Populations // The Annals of Mathematical Statistics. Vol. 14. No. 4. P. 436–440.
10. Gift T.L., PhD. Costs Associated with Using NAATs. CDC. Oct. 2008. URL: <http://www.bd.com/ds/learningCenter/presentations/std-2008-gift.pdf>
11. Giraldo R.A. Everyone Reacts Positive on the ELISA Tests for HIV // Continuum (London). Winter 1998/99. Vol. 5. No. 5. P. 8–10. URL: <http://www.robertogiraldo.com/eng/papers/EveryoneTestsPositive.html>
12. Giraldo R.A., Harven E. de. HIV tests cannot diagnose HIV infection. A reply to several of the numerous fallacies contained in the document entitled “Errors in

Celia Farber's March 2006 article in Harper's Magazine" (Gallo et al., 2006). April 2006. URL: <http://www.robortogiraldo.com/eng/papers/EveryoneTestsPositive.html>

13. *Goodrich M.T., Atallah M.J., Tamassia R.* Indexing Information for Data Forensics. Applied Cryptography and Network Security. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin / Heidelberg. 2005. Vol. 3531. P. 206–221.

14. *Hedt B.L., Pagano M.* Matrix Pooling: An Accurate and Cost Effective Testing Algorithm for Detection of Acute HIV Infection. Harvard University Biostatistics Working Paper Series. 2008. No. 58.

15. *Hwang F.K.* A Generalized Binomial Group Testing Problem // Journal of the American Statistical Association. Dec. 1975. Vol. 70. No. 352. P. 923–926.

16. *Klausner J.D.* The NAAT Is Out of the Bag // Clinical Infectious Diseases. 2004. No. 38. URL: http://www.region8ipp.com/Docs/Articles/klausner_cid_editorial.pdf

17. *Korschun H.* Genetic Amplification (NAAT) Test Detects HIV More Effectively than Standard Tests in Urban Study. URL: <http://www.medicalnewstoday.com/articles/20362.php>

18. *Kumar S.* Multinomial Group-Testing // SIAM Journal on Applied Mathematics. Sep. 1970. Vol. 19. No. 2. P. 340–350.

19. *Lyons J., Margolin F.* FDA-Approved Rapid HIV Antibody Screening Tests. Feb. 4. 2008. URL: <http://edhivtestguide.org/uploads/RTPurchasingChart83007.pdf>

20. *Mundel A.B.* Group Testing // Journal of Quality Technology. 1984. Vol. 16. P. 43–50.

21. *Ngo-Giang-Huong N., Khamduang W., Leurent B. et al.* Early HIV-1 Diagnosis Using In-house real-time PCR Amplification on Dried Blood Spots for Infants in Remote and Resource-Limited Settings // JAIDS. Dec. 2008. Vol. 49. No. 5. P. 465–471.

22. *Papadopulos-Eleopulos E., Turner V.F., Papadimitriou J.M.* Is A Positive Western Blot Proof of HIV Infection? // Biotechnology (NY). June 1993. Vol. 11. No. 6. P. 696–707. URL: <http://www.virusmyth.com/aids/hiv/epwbtest.htm>

23. Rational Testing of the HIV-Exposed Infant / D.K. Benjamin Jr, W.C. Miller, S.A. Fiscus et al. // Pediatrics. July 2001. Vol. 108. No. 1. P. 3. URL: <http://pediatrics.aappublications.org/cgi/content/full/108/1/e3#T1>

24. *Rice D.P.* Estimating the Cost of Illness // The American Journal of Public Health. March 1967. Vol. 57. No. 3. P. 424–440.

25. *Wesolowska L.G., MacKellara D.A., Facenteb S.N. et al.* Post-Marketing Surveillance of OraQuick Whole Blood and Oral Fluid Rapid HIV Testing // JAIDS. 2006. Vol. 20. No. 12. P. 1661–1666.

А.В. Щерба
Научный
руководитель —
О.А. Демидова
Кафедра
математической
экономики
и эконометрики

Прогнозирование оценки суммы под риском в период нестабильного поведения российского рынка акций

Цель данного исследования заключается в поиске наиболее точной оценки суммы под риском (VaR) на примере четырех ликвидных акций первого эшелона российского фондового рынка. Для оценки волатильности с шестью распределениями в работе применяется одна из широко известных методик оценки суммы под риском — GARCH-модель. Для оценки качества моделей и определения периодов с наиболее непредсказуемым поведением волатильности проводится бэк-тестинг моделей. Полученные результаты могут свидетельствовать о пригодности модели в тот или иной период на заданной временной перспективе.

Введение

В период расцвета российского рынка ценных бумаг возрастает интерес к определению размера возможных потерь в процессе торговли финансовыми инструментами. Наиболее популярным методом определения уровня риска является мера VaR (Value at Risk — сумма под риском), или размер возможных потерь для заданной вероятности. Эта мера является сейчас широко распространенной среди риск-менеджеров, а также наиболее понятной российскому высшему руководству финансовой организации. Условно можно выделить два подхода для определения VaR. Первый — параметрический. Данный подход расчета VaR подразумевает оценку риска на основе статистической модели финансового результата. Функция плотности вероятности распределения и ее параметры должны быть известны. Второй подход — непараметрический. Расчет основывается на анализе максимального исторического убытка.

В настоящем исследовании будут применяться оценки VaR на основе двух подходов — параметрического, к которому относятся GARCH-модель и оценка стандартного отклонения, и непараметрического, к которому относится модель исторической оценки VaR. Цель исследования — определить метод, наиболее точно оценивающий VaR на временных промежутках разной длины.

В работе анализируется поведение временных рядов некоторых самых популярных акций российского рынка, «голубых фишек»: Газпрома, Сбербанка, ГМК «Норильский никель» и Роснефти. На основе их котировок проводится тестирование моделей оценки VaR.

1. Обзор литературы

Проведенное исследование опирается на множество публикаций, которые выходили в свет последние 30 лет. Эти публикации можно разделить на две группы: одна посвящена изучению моделей со стохастической волатильностью, другая — моделей оценки VaR.

GARCH-модели являются обобщенным вариантом ARCH-моделей, которые впервые были упомянуты в работе Энгла [9]. Данные модели обобщил Боллерслев [4], после чего модели со стохастической волатильностью стали очень популярны в финансовой математике. Этот класс моделей все больше расширялся с точки зрения выбора функции распределения, моделирования характера поведения ошибки процесса и экономической сущности поведения агентов финансового рынка. Появились работы Нельсона [18], Тсе [5], где рассматривалась асимметричность волатильности — EGARCH-модели с предположением об абсолютных убытках, превышающих абсолютные доходности. В работе Энгла [10] анализировались нелинейные модели — NGARCH, в которых рассматривался леввередж-эффект, где влияние отрицательной доходности имело больший эффект, чем влияние положительной.

Исследования, посвященные расчету VaR, также получили свое развитие в 1990-х гг. Одним из самых ярких приверженцев VaR является Филипп Джордон, чьи работы по указанной тематике издаются с 1995 г. В этом же году подробный анализ данной методики был описан в документации банка J.P. Morgan, мирового гиганта глобального финансового рынка. В 1998 г. выходит статья П. Джексона и др. [14], посвященная анализу требовательности капитала согласно Базельскому соглашению и расчету VaR, утвержденному в этом документе.

Далее методика была усовершенствована Кристофферсоном с соавторами [7]. Позже появляются работы, посвященные тестированию оценок VaR [11], применению многопараметрических распределений [3], а также расчету VaR для опционов [2]. VaR до сих пор является самой популярной мерой риска и успешно применяется в крупных финансовых компаниях наравне с такими мерами, как Expected Shortfall (ES) (среднее значение потерь в случае их превышения VaR), стресс-анализ (тестирование портфеля активов на период кризисного состояния экономики или компании), а также сценарный анализ, подразумевающий несколько состояний экономической среды.

В настоящей работе анализируется поведение четырех акций российского рынка ценных бумаг и проводится сравнение моделей оценки волатильности с точки зрения расчета меры риска VaR. В отличие от предыдущих исследований в данной области, здесь анализируется кризисный период 2008—2009 гг. Наряду с этим в целях анализа возможности отслеживать экономическое состояние, приводящее к кризису, приводятся расчеты для исследования движения рынка в предкризисный период. Кроме того, представлены расчеты по послекризисному времени, помогающие изучить поведение акций в период восстановления экономики. В работе намеренно в отдельности изучается каждый из трех периодов, которые различны по своему характеру и тем самым требуют разного подхода к оценке риска.

2. Данные

Для поиска наиболее точной оценки VaR используются четыре ряда доходностей активно торгуемых на российском фондовом рынке акций — Сбербанка (тикер ММВБ — SBER03), Роснефти (тикер ММВБ — ROSN), Газпрома (тикер ММВБ — GAZP) и Лукойла (тикер ММВБ — LKOH). Информация по котировкам данных активов за редким исключением представлена на рынке ежедневно, что помогает избежать проблемы пропущенных значений. Преимущество выбора «голубых фишек» заключается еще и в наиболее точном отображении поведения российского рынка, так как названные компании являются основными «двигателями» российской экономики.

Данные, использованные в работе, представлены логарифмическими дневными доходностями цен закрытия на бирже ММВБ. Для оценки предсказательной силы моделей используется шесть временных периодов. Разделение на периоды было сделано на основе пове-

денческих режимов экономики, которые присутствовали на российском рынке последние несколько лет.

Первый период представляет интервал времени до наступления кризиса на российском фондовом рынке: 01.01.2006—31.07.2008. Данный интервал выбран как период спокойствия на фондовом рынке. Если ценная бумага не торговалась в начале периода, то началом периода для нее являлся первый день торговли на рынке, если этот день принадлежит данному временному интервалу. Второй период, выбранный с целью оценки предсказательной способности моделей в кризисное время, представлен следующим временным интервалом: 01.08.2008—31.12.2009. Третий период является посткризисным временем: 11.01.2010—30.12.2010. Четвертый представляет собой комбинацию первого и второго и создан для тестирования моделей оценки меры риска в кризисный период на основе данных предкризисного времени. Пятый период — это сочетание второго и третьего, используется он для оценки возможности моделей предсказывать риск посткризисного периода на основе кризисного. Заключительный, шестой временной период является сочетанием первых трех, охватывая наиболее широкий диапазон дат: 01.01.2006—30.12.2010.

Все шесть периодов разделены на два временных интервала:

1) оценочный интервал — первый интервал временного периода, на основе которого производится оценивание волатильности. Данный интервал образуется после отсечения от периода тестового интервала;

2) тестовый интервал — второй интервал временного периода, для которого производится оценка VaR. Длины интервалов выбраны таким образом, чтобы тестировать модели на способность высокой предсказательной силы в условиях одинакового, а также в условиях принципиально меняющегося рынка. Первый (стабилизация), второй (кризис) и третий (посткризис) временные периоды назовем однородными, т.е. отражающими состояние рынка, при котором его волатильность остается на неизменном уровне. Длины тестовых интервалов данных периодов равны 248, 170 и 130 дням. Четвертый (стабилизация, кризис), пятый (кризис, посткризис) и шестой интервалы (стабилизация, кризис, посткризис) назовем принципиально меняющимся рынком, в котором волатильность сильно меняется со временем. Тестовые периоды данных интервалов равны 360, 248 и 248 дням.

Для оценки первой волатильности используется оценочный интервал, для оценки второй волатильности — данный интервал, сдвинутый на один день вперед и т.д. до оценки последней волатильно-

сти. Предсказательная сила моделей в этом случае будет оцениваться на одном дне, а также на более долгосрочном периоде — 10, 20 и 100 рабочих дней. Таким образом, количество оцененных волатильностей и соответственно оценок VaR равно количеству рабочих дней тестового интервала минус предсказательный период. Например, количество оценок VaR в предсказании на один день вперед равно 248, 170, 130, 360, 248, 248 для каждого временного периода соответственно, а для предсказания на 10 дней вперед количество оценок уменьшается на десять значений и равно 238, 160, 120, 350, 238, 238 соответственно.

3. Методология

3.1. Сумма под риском (Value-at-Risk)

«VaR измеряет наихудший уровень потерь на временном горизонте в нормальных рыночных условиях при заданном уровне доверительной вероятности» [15].

Математически определение VaR выглядит следующим образом:

$$P(R < \text{VaR}(\alpha)) = 1 - \alpha. \quad (1)$$

По математическому описанию формулы VaR очевидно, что это не что иное, как квантиль функции распределения случайной величины для заданной вероятности α . Данная методология и используется в параметрическом подходе. Однако функция распределения не всегда определяется для поиска VaR, часто используются частотные исторические показатели. Этот подход относится к непараметрическим оценкам VaR.

В данной работе распределение случайной величины GARCH-процесса будет подчиняться известным функциям распределения, к которым относятся: нормальное (гауссовское) распределение, нормальное смещенное (гауссовское) распределение, распределение Стьюдента, смещенное распределение Стьюдента, обобщенное распределение ошибки и смещенное обобщенное распределение ошибки. Таким образом, волатильности, найденные по модели GARCH со всеми распределениями, используются для расчета VaR и сравниваются с оценкой VaR, рассчитанной на основе стандартного отклонения, а также с исторической оценкой VaR.

Непараметрический подход. Историческая оценка Value at Risk (HVaR) является весьма распространенным методом, который не требует знания функции распределения и сложных математических расчетов. Благодаря данным особенностям он используется в большинстве финансовых организаций, осуществляющих оценку риска. Для расчета HVaR необходимо выстроить доходности актива от меньшей к большей и затем отсечь заданный процент от «хвоста» убытков. Минимальное значение (максимальный убыток) из оставшегося ряда является HVaR.

Параметрический подход. Данный подход требует знания функции распределения и ее параметров. Для нахождения VaR необходимо оценить параметры распределения, а затем по формуле (1) рассчитать Value-at-Risk. Для оценки коэффициентов GARCH модели и параметров распределения используется метод максимального правдоподобия.

Для оценки VaR, волатильность которого вычисляется по формуле стандартного отклонения, используется нормальное распределение, в котором оценка математического ожидания находится с помощью формулы арифметического среднего.

3.2. Оценка волатильности

3.2.1. Стандартное отклонение

Оценка стандартного отклонения проводится по следующей формуле:

$$\sigma_n = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (r_t - \bar{r})^2 \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Данный способ представляет собой самый простой вариант оценки волатильности. Особенность модели — неизменность волатильности на всем временном горизонте.

3.2.2. GARCH-модель

Идея модели заключается в том, что волатильность является не детерминированной, а стохастической величиной. Доходности актива распределены согласно известному закону, а дисперсия подчиняется следующему равенству:

$$\sigma_{t+1}^2 = w + \sum_{k=0}^K \alpha_k \sigma_{t-k}^2 + \sum_{n=0}^N \beta_n \varepsilon_{t-n}^2,$$

где w — константа;

α_k — коэффициент перед дисперсией для $t - k$ момента времени;

σ_{t-k}^2 — дисперсия для $t - k$ момента времени;

β_n — коэффициент перед случайной величиной (доходностью) для $t - n$ момента времени;

ε_{t-n} — случайная величина, распределенная по закону $f(q)$, где f — функция плотности распределения с параметрами q .

В данной работе применяется модель GARCH(1,1). Этот вид имеет широкое применение в силу большого преимущества над моделями с детерминированной волатильностью [8] и незначительного недостатка по сравнению с GARCH-моделями более высокого порядка [13].

GARCH(1,1):

$$\sigma_{t+1}^2 = w + \alpha \sigma_t^2 + \beta \varepsilon_t^2.$$

Так как модели тестируются не только на предсказание на один день вперед, но и на более долгосрочный период, представим формулу GARCH(1,1) для оценки предсказания волатильности на k дней:

$$\sigma_{t+k}^2 = w + \sum_{j=0}^{k-2} (\alpha + \beta)^j + (\alpha + \beta)^{k-1} \sigma_{t+1}^2.$$

3.3. Функции распределения

Распределения, используемые в расчете GARCH-модели, выбраны таким образом, чтобы отражать различное состояние экономики — предкризисное, кризисное и посткризисное.

3.3.1. Нормальное (гауссовское) распределение (N)

Это непрерывное распределение, которое является наиболее распространенным представлением, описывающим случайную величину, симметрично распределенную вокруг своего среднего значения. График функции имеет куполообразную форму:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где параметр μ является математическим ожиданием, а σ^2 — дисперсией случайной величины. Если $\mu = 0$ и $\sigma^2 = 1$, то распределение принимает форму стандартного нормального.

3.3.2. Смещенное нормальное (гауссовское) распределение (SN)

Это распределение является обобщением нормального (гауссовского) распределения, допуская ненулевое смещение.

Функция плотности смещенного нормального распределения с параметром смещения α выглядит следующим образом:

$$f(x) = 2\varphi(x)\Phi(\alpha x),$$

где $\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \varphi(t) dt$;

$\varphi(x)$ — функция плотности стандартного нормального распределения.

3.3.3. Распределение Стьюдента (t)

Форма распределения Стьюдента похожа на форму нормального распределения (чем больше число степеней свободы, тем ближе распределение к нормальному). Отличием является то, что «хвосты» распределения Стьюдента медленнее стремятся к нулю, чем «хвосты» нормального распределения. Плотность распределения выглядит следующим образом:

$$f(z_t, \nu) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)\sqrt{\pi(\nu-2)}} \left(1 + \frac{z_t^2}{\nu-2}\right)^{-\frac{\nu+1}{2}},$$

где Γ — гамма-функция;

ν — количество степеней свободы.

3.3.4. Смещенное распределение Стьюдента (St)

Это распределение является обобщением t -распределения, допуская ненулевое смещение, плотность которого выглядит следующим образом:

$$f(x) = \frac{2\beta}{1+\beta^2} \left[t_v(\beta x) I(x < 0) + t_v\left(\frac{x}{\beta}\right) I(x \geq 0) \right],$$

где I — индикатор;

$\beta > 0$;

t_v — плотность распределения Стьюдента с v степенями свободы. Если $\beta = 1$, то $f(x)$ принимает форму несмещенного распределения Стьюдента.

3.3.5. Обобщенное распределение ошибки (GED)

Это непрерывное распределение, обладающее параметром, регулирующим «толщину» «хвоста».

Плотность данного распределения подчиняется следующему закону:

$$f(z_t, v, \lambda) = \frac{v \cdot \exp\left(-0,5 \left| \frac{z_t}{\lambda} \right|^v\right)}{\lambda 2^{\left(\frac{1}{v}\right)} \Gamma(v^{-1})},$$

где $\lambda = \sqrt{2^{-\frac{2}{v}} \Gamma(v^{-1}) \Gamma(3v^{-1})}$.

3.3.6. Смещенное обобщенное распределение ошибки (SGED)

Это распределение является обобщенным вариантом GED-распределения, допуская ненулевое смещение.

Плотность распределения:

$$f(y|\mu, \sigma, k, \lambda) = \frac{C}{\sigma} \exp\left(-\frac{1}{[1 - \text{sign}(y - \mu + \delta\sigma)\lambda]^k \theta^k \sigma^k} |y - \mu + \delta\sigma|^k\right),$$

где $C = \frac{k}{2\theta} \Gamma\left(\frac{1}{k}\right)^{-1}$;

$$\theta = \Gamma\left(\frac{1}{k}\right)^{\frac{1}{2}} \Gamma\left(\frac{3}{k}\right)^{\frac{1}{2}} S(\lambda)^{-1};$$

$$S(\lambda) = \sqrt{1 + 3\lambda^2 - 4A^2\lambda^2};$$

$$A = \Gamma\left(\frac{2}{k}\right) \Gamma\left(\frac{1}{k}\right)^{-\frac{1}{2}} \Gamma\left(\frac{3}{k}\right)^{-\frac{1}{2}}.$$

Ограничения на константы: $k > 0, -1 < \lambda < 1$.

4. Бэк-тест

Одним из традиционных условий расчета статистических показателей инструментов финансового рынка является проведение бэк-тестинга (back testing). Бэк-тестинг — это процедура, в которой значения VaR сравниваются с фактическими изменениями стоимости акции с целью выявления процента превышения VaR, т.е. того, насколько точно расчет суммы под риском прогнозирует размер риска.

Одним из самых распространенных тестов в этой области является тест Купиека (1995). Купиек предложил POF-тест (proportion of failures — процент нарушений), который проверяет гипотезу о равенстве теоретической и эмпирической вероятностей. Пусть p — уровень значимости, тогда в случае существенного превышения числом нарушений значения $p \cdot 100\%$ модель расчета VaR не проходит бэк-тестинг.

Основная гипотеза в тесте Купиека формулируется следующим образом:

$$H_0 : p = \frac{x}{T}.$$

При альтернативной гипотезе

$$H_A : p \neq \frac{x}{T}.$$

Тестовая статистика

$$\text{POF} = 2 \ln \left(\left(\frac{1 - \frac{x}{T}}{1 - p} \right)^{T-x} \left(\frac{\frac{x}{T}}{p} \right)^x \right)$$

имеет распределение χ^2 с одной степенью свободы.

5. Результаты

В данной главе значения VaR и бэк-тестинг для всех моделей представлены отдельно. Оценки VaR приведены в первую очередь, и по полученным оценкам выявляется наилучшая модель, которая имеет минимальное отклонение от квантиля. Далее для оценки лучшей модели проводится бэк-тестинг. Весь алгоритм расчетов был реализован с помощью программного обеспечения R , и коды реализованных программ могут быть предоставлены по требованию (sherbaa@gmail.com).

Результаты исследований вышеописанных моделей приведены в приложении. В целях экономии места указаны суммарные значения по VaR-моделям, полные же значения с оценками квантилей могут быть предоставлены по требованию (sherbaa@gmail.com). Таблица устроена следующим образом. В первой колонке «Период предсказания» обозначены все перечисленные в п. 3 периоды — 1 день, 10, 20 и 100 дней, вторая колонка («Q») отображает квантиль. Правее в колонках под названиями рядов данных зафиксированы оценки квантиля, выписанного во второй колонке, в разбивке по распределениям — если это GARCH-модель, H — если это историческая оценка, и SD — если это оценка VaR нормального распределения, в котором волатильность оценена по формуле стандартного отклонения. Показатели в таблицах принимают значения в интервале от 0 до 6 согласно количеству периодов, описанных в п. 3. Значения 0–6 говорят о количестве временных интервалов, на которых оценка модели является наиболее точной. Таким образом, значение 1 указывает на успешность модели только на одном периоде по сравнению с остальными моделями, значение 2 — на двух периодах, и так далее до шести.

Ячейки закрашены серым цветом, если оценка VaR-модели является наиболее точной для всех временных интервалов на заданном периоде. В конце каждого периода в строке « Σ » подводится итог наиболее точных оценок для выявления наилучшего метода в периоде предсказания. Строка «Итог» отражает суммарное значение строк « Σ » для выявления наилучшего метода в целом.

Рассмотрим результаты проведенного анализа моделей. Для периода предсказания в 1 день следует отметить явное преимущество модели GARCH. Для акций Газпрома наиболее точные оценки были получены с помощью смещенного распределения Стьюдента. Следует сказать и о достаточно точных результатах GARCH-модели с распределениями SN, t и SGED. Для акций Сбербанка и Роснефти фаворитами

также являются распределения SGED и St. Акции ГМК «Норильский никель» были лучше всего предсказаны распределением SGED, а также распределением Стьюдента.

В периоде предсказания на 10 дней для трех рядов распределение St показало наилучшие результаты. Следует отметить появление исторической оценки в наиболее точных моделях на двух значениях — для квантилей 0,8 и 0,85 для акций Сбербанка и ГМК «Норильский никель» соответственно.

Оценки, полученные на предсказании в 20 дней, также отражают общее преимущество GARCH-моделей с распределениями Стьюдента, обобщенного распределения ошибки и их модификаций с параметром смещения. Тем не менее историческая оценка тоже является достаточно точной в сравнении с предыдущими периодами предсказания.

В периоде предсказания на 100 дней явным преимуществом обладает историческая оценка. GARCH-модель показала успешные результаты только для акций Газпрома, где использовалось SGED-распределение. Оценки GARCH для остальных рядов по всем распределениям примерно одинаковы по точности.

Наиболее точная оценка по всем временным интервалам отражена в строке «Итог». Так, явным преимуществом обладают GARCH-модели со смещенным распределением Стьюдента и смещенным обобщенным распределением ошибки.

Вышеописанные оценки VaR дополняются результатами теста Купиека. В табл. 1–4 приведены четыре матрицы с критериями квантиль — период. Каждая матрица отражает период предсказания соответственно в 1 день, 10, 20 и 100 дней.

Для анализа была определена доверительная вероятность POF-теста на уровне 99%. В каждой таблице представлены значения от 0 до 4, которые соответствуют количеству анализируемых рядов в работе. Таким образом, значение 0 говорит о прохождении теста Купиека наилучшей моделью на данном временном периоде и заданном квантиле по всем четырем рядам. Значения 1–4 говорят об отклонении нулевой гипотезы о равенстве теоретической и эмпирической вероятностей при уровне значимости 1% по одному — четырем временным рядам соответственно.

В результате проведенного бэк-тестинга выявлена предсказательная сила самых успешных моделей. Это косвенно отражает и качество других моделей на заданном периоде, так как слабая предсказательная сила успешной модели автоматически говорит о слабой предска-

тельной силе всех остальных моделей. Анализ моделей на основе бэк-тестинга был проведен не для оценки качества модели — данная цель была достигнута в предыдущем анализе VaR, а для выявления наиболее сложно предсказуемых временных интервалов. Как будет показано ниже, VaR по некоторым периодам так и не был точно предсказан ни одной моделью для заданного уровня доверительной вероятности.

Рассмотрим представленные модели. Результаты бэк-тестинга для VaR с предсказанием на 1 день даны в табл. 1. Оценки наилучших моделей оказались успешными во всех случаях за исключением только одного — 95% квантиль на шестом периоде. В табл. 2, где представлены результаты предсказания на 10 дней (VaR на 10 дней), точность наилучших оценок подвергается сомнению в семи случаях из 144, которые образуются шестью временными интервалами для шести квантилей на четырех временных рядах. В табл. 3, отражающей результаты предсказания на 20 дней (VaR на 20 дней), валидность моделей не подтверждается на периодах 3 и 6 на квантилях с большой вероятностью. Предска-

Таблица 1. Бэк-тест, VaR на 1 день

Предсказание 1	Период					
	1	2	3	4	5	6
Квантиль						
0,99	0	0	0	0	0	0
0,98	0	0	0	0	0	0
0,95	0	0	0	0	0	1
0,90	0	0	0	0	0	0
0,85	0	0	0	0	0	0
0,80	0	0	0	0	0	0

Таблица 2. Бэк-тест, VaR на 10 дней

Предсказание 10	Период					
	1	2	3	4	5	6
Квантиль						
0,99	0	0	0	0	0	0
0,98	0	0	0	0	0	1
0,95	0	0	1	0	0	1
0,90	0	0	1	0	1	0
0,85	0	1	0	0	0	0
0,80	0	1	0	0	0	0

зания на 100 дней (VaR на 100 дней), показанные в табл. 4, оказались наихудшими на втором, пятом, шестом временных периодах, и модели в данных случаях неприменимы.

Таблица 3. Бэк-тест, VaR на 20 дней

Предсказание 20	Период					
	1	2	3	4	5	6
Квантиль						
0,99	0	0	0	0	0	0
0,98	0	0	0	1	0	0
0,95	0	0	0	0	1	2
0,90	0	1	2	0	1	1
0,85	0	1	2	0	1	4
0,80	0	1	2	0	0	3

Таблица 4. Бэк-тест, VaR на 100 дней

Предсказание 100	Период					
	1	2	3	4	5	6
Квантиль						
0,99	0	0	0	0	0	0
0,98	0	0	0	0	0	0
0,95	1	4	0	0	4	4
0,90	0	3	0	0	3	4
0,85	0	2	2	0	3	4
0,80	0	3	2	0	4	4

Заключение

В работе приведен анализ российского рынка ценных бумаг с точки зрения поведения четырех акций — «голубых фишек», которые являются одними из наиболее ярких представителей российского рынка и имеют большой удельный вес в индексе акций ММВБ. Обнаружены явные закономерности и зависимости между состоянием фондового рынка и успешностью той или иной модели.

Модели с тяжелыми «хвостами» и возможностью оценки параметра смещения наиболее точно оценивают предкризисное и кризисное время. Модели на основе распределения Стьюдента успешно применяются на посткризисных и смешанных периодах. Обнаружено также,

что с увеличением горизонта прогнозирования модель исторической оценки VaR становится более точной по сравнению с остальными, более сложными моделями. Оценки VaR прошли бэк-тестинг в предсказаниях на 1 и 10 дней, что подтверждает валидность моделей. В предсказаниях же на 20 и 100 дней пригодность моделей, за исключением первого и четвертого периода, ставится под сомнение.

Результаты, представленные в исследовании, могут быть полезны для оценки риска в крупных компаниях, в которых ведется активная торговля на фондовом рынке и уделяется большое внимание степени возможной убыточности активов. Так как внимание к методам анализа рынка риск-менеджмента в последнее время сильно возросло в связи с кризисом 2008 г., меняются требования к точности расчетов. Нетривиальные модели оправдывают свое применение на краткосрочных участках, на которых крупные компании терпят большие убытки, не успевая закрывать позиции. Таким образом, внимание к данным моделям в эпоху нестабильного финансового рынка возрастает, и результаты исследования, приведенные в работе, могут найти практическое применение на российском рынке.

Источники

1. *Канторович Г.Г.* Лекционные и методические материалы. Анализ временных рядов. Лекция 16. Модели с условной гетероскедастичностью // Экономический журнал ВШЭ. 2003. № 1. С. 97–102.
2. *Alesii II G.* Value at Risk (VaR) in Real Options Analysis. University of L'Aquila. Working Paper Series. 2005.
3. *Bauer C.* Value at Risk Using Hyperbolic Distributions // Journal of Economics and Business. 2000. Vol. 52. P. 455–467.
4. *Bollerslev T.* Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity // Journal of Econometrics. 1986. Vol. 31. P. 307–327.
5. *Booth G.G., Martikainen T., Tse Y.* Price and Volatility Spillovers in Scandinavian Stock Markets // Journal of Banking and Finance. 1997. Vol. 21. P. 811–823.
6. *Chen C.W.S., Gerlach R., Hwang B.B.K., McAleer M.* Forecasting Value-at-Risk Using Nonlinear Regression Quantiles and the Intra-day Range. University of Canterbury, Department of Economics and Finance. Working Papers in Economics. No. 11/22. 2011.
7. *Christoffersen P., Hahn J., Inoue A.* Testing, Comparing and Combining Value-at-Risk Measures. University of Michigan. Working Paper. 1999.
8. *Ederington L.H., Guan W.* Forecasting Volatility. University of Oklahoma, University of South Florida St. Petersburg. Working Paper. 2004.

9. *Engle R.F.* Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation // *Econometrica*. 1982. Vol. 50. P. 987–1007.
10. *Engle R. F., Ng V.K.* Measuring and Testing the Impact of News on Volatility // *Journal of Finance*. 1993. Vol. 48. No. 5. P. 1749–1778.
11. *Fajardo J., Farias A., Ornelas J.R.H.* Goodness-of-Fit Tests Focus on Value-at-Risk Estimation // *Brazilian Review of Econometrics*. 2006. Vol. 26. No. 2. P. 309–326.
12. *Glosten L., Jagannathan R., Runkle D.* On the Relation between the Expected Value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks // *Journal of Finance*. 1993. Vol. 48. No. 5. P. 1779–1801.
13. *Hansen P.R., Lunde A.* A Comparison of Volatility Models: Does Anything Beat a GARCH(1,1)? Brown University Economics. Working Paper No. 01-04. 2004.
14. *Jackson P., Perraudin W., Maude D.* Testing Value-at-Risk Approaches to Capital Adequacy // *Bank of England Quarterly Bulletin*. 1998. Vol. 38. No. 3. P. 256–266.
15. *Jorion P.* Risk: Measuring the Risk in Value-At-Risk // *Financial Analysts Journal*. 1996. Vol. 52. P. 47–56.
16. *Kuester K., Mittnik S., Paolella M.S.* Value-at-Risk Prediction: A Comparison of Alternative Strategies // *Journal of Financial Econometrics*. 2006. Vol. 4. No. 1. P. 53–89.
17. *Kupiec P.* Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Management Models // *Journal of Derivatives*. 1995. Vol. 3. P. 73–84.
18. *Nelson D.B.* Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach // *Econometrica*. 1991. Vol. 59. P. 347–370.
19. *Nozari M., Raei S.M., Jahangiri P., Bahramgiri M.* A Comparison of Heavy-Tailed VaR Estimates and Filtered Historical Simulation: Evidence from Emerging Markets // *International Review of Business Research Papers*. 2010. Vol. 6. No. 4. P. 347–359.
20. *Pai T.U., Lee Y.H.* REIT Volatility Prediction for Skew-GED Distribution of The GARCH Model // *Expert Systems with Applications*. 2010. Vol. 37. No. 7. P. 4737–4741.
21. *Sentana E.* Quadratic ARCH Models // *Review of Economic Studies*. 1995. No. 62. P. 639–661.
22. *Theodossiou P.* Skewed Generalized Error Distribution of Financial Assets and Option Pricing. School of Business. Rutgers University. New Jersey. Working Paper. 2001.

Приложение

Суммарные значения VaR-моделей

Период предсказания	Газпром												Сбербанк												ГМК «Норильский никель»												Роснефть											
	Q	N	SN	t	St	GED	SGED	SD	H	N	SN	t	St	GED	SGED	SD	H	N	SN	t	St	GED	SGED	SD	H	N	SN	t	St	GED	SGED	SD	H															
1	0,99	3	4	4	4	4	4	1	2	1	1	3	2	2	3	1	1	3	3	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	4	3	4	1	1														
	0,98	2	4	1	2	1	3	0	1	4	1	2	2	2	3	1	1	3	4	2	4	3	3	1	1	4	1	2	2	2	3	0	0															
	0,95	3	4	3	4	2	3	1	0	2	3	2	2	2	2	0	1	3	3	4	3	4	3	1	1	2	3	2	3	2	2	0	0															
	0,90	2	2	3	2	1	2	0	0	1	3	1	3	1	2	0	1	1	1	4	4	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	2	1	0														
	0,85	1	1	2	3	1	1	0	0	1	0	1	3	0	4	1	0	2	2	4	5	1	1	1	1	1	1	0	1	3	1	4	0	0														
	0,80	1	0	2	2	3	2	1	0	0	1	2	3	1	3	0	0	1	1	4	5	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	1	3	0	0													
Σ	12	15	15	17	12	15	3	3	9	9	11	15	8	17	3	4	13	14	18	24	10	11	6	6	10	10	12	17	10	18	2	1																
10	0,99	4	3	3	3	3	2	3	4	6	4	5	4	5	2	2	5	4	5	4	4	2	3	4	3	4	4	4	3	1	2																	
	0,98	4	6	3	4	3	4	0	0	5	5	3	4	3	3	1	2	4	4	4	4	4	1	2	2	3	2	2	2	3	0	1																
	0,95	1	2	3	3	1	1	0	2	1	2	4	5	2	3	0	0	3	3	3	2	2	2	1	1	2	3	1	2	2	3	1	2															
	0,90	2	2	3	4	2	2	0	1	1	3	5	5	3	4	0	0	1	2	2	4	1	1	1	0	0	0	1	3	1	2	1	0															
	0,85	1	1	0	2	0	0	1	2	0	0	1	1	1	3	1	1	2	1	2	1	2	1	0	1	2	0	1	2	0	2	0	1															
	0,80	0	0	4	4	3	2	1	0	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	5	4	0	2	1	1	0	1	0	1	1	5	0	1															
Σ	12	14	16	20	12	12	4	8	12	17	18	21	15	20	5	7	16	15	20	21	12	13	7	9	8	11	9	14	10	18	3	7																
20	0,99	4	4	3	3	3	2	4	3	4	6	4	5	5	1	1	4	4	5	3	5	4	2	3	3	3	4	4	4	3	1	2																
	0,98	3	4	4	4	4	3	1	3	5	5	4	5	4	4	0	1	5	4	5	4	5	1	0	0	3	2	2	1	2	0	1																
	0,95	4	2	2	3	3	2	0	1	3	2	4	6	4	3	1	2	3	4	3	3	2	3	1	3	2	3	4	3	4	1	2																
	0,90	3	2	3	4	2	2	0	1	1	1	4	5	4	5	1	0	0	0	1	2	2	2	1	2	1	0	2	0	2	1	2																

Электронное научное издание

Сборник статей аспирантов — 2011

Зав. редакцией *Е.А. Бережнова*

Редактор *Г.Е. Шерихова*

Художественный редактор *А.М. Павлов*

Компьютерная верстка и графика: *О.А. Быстрова*

Корректор *Е.Е. Андреева*

Гарнитура Newton С. 5,6 Мб. Уч.-изд. л. 9,0. Изд. № 1470

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20
Тел./факс: (499) 611-15-52