

В. В. Холодкова

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО

Методы принятия инвестиционных решений разнообразны. Они включают в себя модели, зависящие от характеристик оцениваемых проектов, достаточности собственного капитала, иных факторов. Большинство методов принятия решений основывается на анализе денежных потоков, получаемых от реализации инвестиционных альтернатив.

Сам метод оценки инвестиционной альтернативы дает ответ на вопрос — выгодна ли данная альтернатива для реализации. Однако для правильного принятия решения необходима оценка устойчивости результатов проекта к меняющимся внешним условиям функционирования проекта (системы проектов). Она является важнейшей составляющей при принятии решения о реализации проекта. Наиболее интересным методом, учитывающим возможное вероятностное распределение факторов в будущем, является метод Монте-Карло. Механизмы и алгоритмы его применения широко описаны в точных науках, однако в экономической сфере его используют не так часто.

Основными методами оценки устойчивости инвестиционных показателей являются: метод анализа чувствительности, метод сценариев, построение дерева решений, метод Монте-Карло. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, а также ограничения в применении.

Методы можно разделить на две основные группы — это методы оценки влияния параметров на конечный показатель оценки эффективности инвестиций (как правило, рассматривается показатель чистой настоящей стоимости) и методы, предполагающие формирование общего сценария развития проекта с учетом вероятных параметров. К первым относятся метод анализа чувствительности и метод Монте-Карло, ко вторым, соответственно, метод сценариев и метод дерева решений.

При выборе метода оценки устойчивости результатов важно ответить на вопрос — какой из методов покажет результат, в меньшей степени подверженный субъективной оценке исследователя.

Рассмотрим методы, при применении которых денежные потоки заданы однозначно, однако учитывается возможность изменения внешних параметров, включенных в расчет денежного потока, а именно неточности прогнозирования ставки дисконтирования, внешних цен и проч.

Наиболее простым методом оценки устойчивости проекта к меняющимся условиям рынка является анализ чувствительности [1, с. 325]. Он позволяет исследователю наглядно оценить изменчивость инвестиционных показателей при изменении внешних рыночных параметров.

Виктория Владимировна ХОЛОДКОВА — канд. экон. наук, доцент кафедры экономической кибернетики СПбГУ. В 1999 г. окончила экономический факультет СПбГУ, в 2003 г. защитила кандидатскую диссертацию. Сфера научных интересов — оценка инвестиционных решений и принятие инвестиционных решений в условиях неопределенности. Автор 10 научных статей и методических пособий.

© В. В. Холодкова, 2012

Однофакторный анализ и двухфакторный анализ чувствительности чаще всего интерпретируются в графическом представлении. В теории можно провести и многофакторный анализ, однако к его недостаткам относится сложность работы с большим объемом информации, а также невозможность графической интерпретации результатов анализа.

Существенным недостатком анализа чувствительности является интервальность полученных оценок, кроме того, самостоятельный выбор исследователем интервалов изменения оцениваемых факторов. То есть изменение внешних условий также определяется с учетом ожиданий.

Частичное устранение этих недостатков возможно при применении метода анализа устойчивости на основании метода Монте-Карло [2, р. 70], который опирается на задание закона распределения для исследуемого фактора как случайной величины [3, с. 7].

Применение метода Монте-Карло позволяет провести моделирование итогового показателя эффективности инвестиций на базе случайным образом смоделированных входных параметров, оценить устойчивость результатов проекта к меняющимся условиям на основании полученных характеристик показателя. Такое моделирование может быть проведено для всех основных влияющих факторов. Далее, анализируя изменчивость результирующего показателя эффективности, можно выбирать факторы, на которые необходимо обратить особое внимание [4, с. 47].

Суть применения алгоритма состоит в построении через имитационные расчеты функции распределения инвестиционного результирующего показателя (например, чистой настоящей стоимости, внутренней нормы доходности) при повторении большого числа экспериментальных расчетов [5, с. 20]. По результатам такого моделирования можно определить частоту реализаций значений показателя, которые устраивают исследователя, и принять решение о выгодности или невыгодности осуществления инвестиционной альтернативы. Таким образом, с помощью метода Монте-Карло можно проверить устойчивость результатов проекта к изменению различных внешних факторов.

Само по себе использование метода Монте-Карло для оценки устойчивости значения показателей проектов выгодно для исследователя. Программными средствами можно рассчитать и смоделировать множество ситуаций.

Рассмотрим реализацию метода Монте-Карло более подробно.

1. Реализация метода начинается с выбора моделируемых параметров. Моделируются те параметры, которые являются внешними по отношению к исследуемой альтернативе, например ставка дисконтирования или ее составляющие, цены товаров и комплектующих, объемы спроса на товар на рынке, т. е. факторы, значения которых исследователь принимает для себя как внешние.

Моделирование значения параметров осуществляется на основании выбранного закона распределения. Проблема выбора распределения при моделировании финансовых величин стоит особенно остро. По нормальному закону распределены многие величины, однако, к сожалению, для финансовых величин этот закон распределения подходит не всегда.

У нормального распределения математическое ожидание, мода, медиана совпадают, однако для большинства финансовых величин это неверно. Как правило, для экономических величин используется логарифмически-нормальное или логнормальное

распределение. Логнормальное распределение не имеет значений в отрицательной области, обладает различными значениями среднего, моды и медианы, что также подходит для моделирования экономических величин. Логнормальное распределение выбирается еще и потому, что значения логарифмически-нормальной случайной величины формируются под воздействием большого числа взаимно независимых факторов, причем действие каждого фактора незначительно и равновероятно по знаку [6, с. 129].

Плотность вероятности случайной логнормально-распределенной величины X с параметрами μ и σ имеет вид [6, с. 130]

$$F(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu)^2 / 2\sigma^2}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $\mu \in R$ и $\sigma > 0$.

Иногда записывают

$$X \sim \text{Log}N(\mu, \sigma^2). \quad (2)$$

Также можно показать связь логнормального распределения с нормальным распределением.

Если выполняется (2), то

$$Y = \ln X \sim \text{Log} N(\mu, \sigma^2), \quad (3)$$

где $N(\mu, \sigma^2)$ — нормальное распределение с параметрами μ и σ .

При моделировании экономических случайных величин по логнормальному распределению обычно используется связь с нормальным распределением, т. е. генерируется нормально распределенная случайная величина, которая преобразуется в логнормальную случайную величину путем вычисления ее экспоненты.

Основной характеристикой логнормальной случайной величины является то, что плотность распределения не симметрична и значения плотности больше в области значений, близкой к нулю. Эта характеристика отражает свойства рассматриваемых экономических величин: ставки процента, стоимости материалов, величины заработной платы, иных экономических параметров (рис. 1).

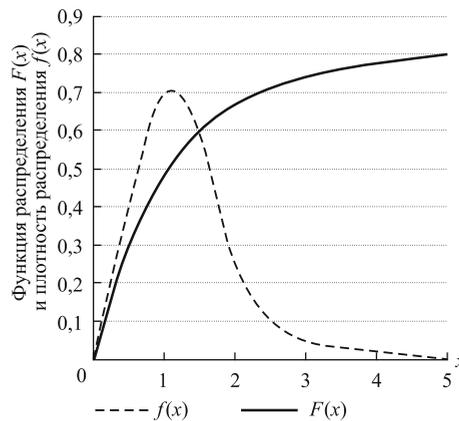


Рис. 1. График плотности и функции логнормального распределения.

2. После выбора моделируемой величины и закона распределения проводится моделирование. Для получения достоверных результатов необходимо осуществить большое число реализаций (больше 1000 реализаций по каждой случайной величине).

При определении параметров логнормального распределения предлагается использовать в качестве входящих параметров моду и медиану случайной величины. Ориентация на указанные параметры объясняется следующим образом: мода как величина, наиболее часто встречающаяся среди наблюдений, берется равной расчетному значению параметра.

Медиана — величина равновероятная, которая принималась несколько больше (эмпирические представления о возможных тенденциях изменения оцениваемой величины), чем величина моды или заданного значения параметра. Это объясняется тем, что для финансово-экономических величин рост в будущем более вероятен, нежели падение, интервал возможного роста величины не ограничен, в то же время падение ограничено нулем. Кроме того, большая часть параметров имеет тенденцию к увеличению в связи с развитием мировой экономики в целом.

На основании значения моды и медианы рассчитывались величины математического ожидания и дисперсии [6, с. 131]:

$$\text{Mediana}(\eta) = e^{\mu} = \text{Moda}(\eta)e^{\sigma^2}, \quad (4)$$

$$\text{Moda}(\eta) = e^{\mu - \sigma^2}. \quad (5)$$

3. Далее на основании значений смоделированной случайной величины фактора рассчитывается значение инвестиционного показателя (например, чистой настоящей стоимости). Возможно также моделирование значения иных показателей, таких как индекс доходности, срок окупаемости и др. По полученным значениям инвестиционного показателя определяются плотность его распределения, математическое ожидание, стандартное отклонение и коэффициент вариации.

4. На основании характеристик распределения инвестиционного показателя определяется устойчивость характеристик проекта для каждого инвестора. Как правило, устанавливаются значения математического ожидания и дисперсии результирующего показателя, на основании которых вычисляется коэффициент вариации проекта и оценивается устойчивость.

Кроме того, можно определить критическое значение рассматриваемой переменной, для которой показатель остается в рамках значения, приемлемого либо для показателя (в общем случае), либо для данного инвестора.

Рассмотрим реализацию метода Монте-Карло на практическом примере — проекте эксплуатации оборудования, рассчитанном на девять лет эксплуатации, с определенными доходами и расходами, зависящими от внешних факторов и объемов производства. Необходимо провести оценку устойчивости значения показателей эффективности проекта к изменениям различных внешних факторов, а также сравнительный анализ полученных по методу Монте-Карло результатов с результатами анализа чувствительности.

В табл. 1 представлены прогнозные денежные потоки по оцениваемому проекту эксплуатации оборудования. На основании денежных потоков проведен расчет основных показателей эффективности реализации проекта: NPV (чистая настоящая стоимость) = 1 396 121, IRR (внутренняя норма доходности) = 80%, PI (индекс прибыльности) = 2,78.

Таблица 1. Денежные потоки по базовому проекту эксплуатации оборудования, тыс. рублей

Денежные потоки \ Период	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Инвестиционные затраты	-786 240	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Денежные поступления	-	638 785	697 778	664 756	609 719	532 667	433 601	312 520	169 424	4314

Полученные результаты показывают, что данный проект является выгодным для инвестора. Более того, высокая ставка внутренней доходности характеризует его высокую доходность.

Далее необходимо оценить устойчивость полученных значений показателей к возможным изменениям внешних факторов (заработной платы, материалов и электроэнергии). Проведем однофакторный анализ чувствительности (табл. 2) по всем рассматриваемым факторам [7, с. 102].

Таблица 2. Результаты однофакторного анализа чувствительности критерия NPV

Процентное изменение параметра	Значение NPV, тыс. рублей		
	зарплата	электроэнергия	материалы
0,85	1 688 137	1 641 037	4 218 774
0,90	1 667 702	1 636 301	3 354 793
0,95	1 647 266	1 631 566	2 490 811
1,00	1 626 830	1 626 830	1 626 830
1,05	1 606 394	1 622 094	762 848
1,10	1 622 742	1 625 882	-101 133
1,15	1 565 522	1 612 622	-965 115

На рис. 2 показано, что проект наиболее чувствителен к изменению стоимости материалов в силу большого наклона кривой зависимости NPV от стоимости материалов. Другие факторы практически не влияют на значение показателя.

Посмотрим, какие результаты покажет анализ с применением моделирования по методу Монте-Карло. Проверим устойчивость показателей эффективности проекта к изменению таких внешних факторов, как ставка процента, стоимость электроэнергии, величина заработной платы и стоимость материалов.

На основе использования в качестве случайной одной из вышеуказанных величин с помощью пакета «Анализ данных в MS Excel» моделируются ее значения, распределенные по логнормальному закону с соответствующим математическим ожиданием и дисперсией. Для основных факторов, рассматриваемых в рамках анализа проекта — ставки процента, стоимости электроэнергии, величины заработной платы, стоимости материалов, соблюдаются характеристики логнормального распределения.

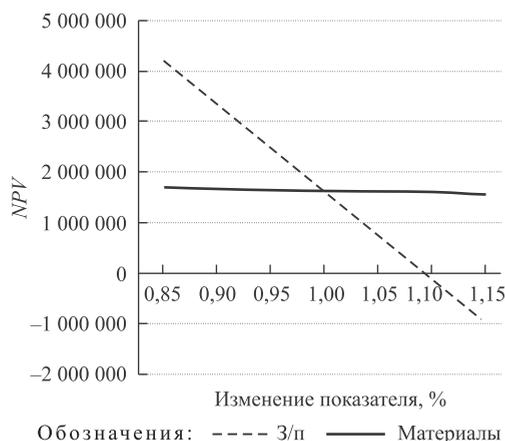


Рис. 2. Однофакторный анализ чувствительности NPV к изменению факторов.

В соответствии с требованиями закона больших чисел для каждой из рассматриваемых величин было проведено по 1000 реализаций с выбранными значениями моды и медианы логнормального закона распределения. Для полученных значений показателей осуществлялись пересчет денежного потока проекта и расчет показателя эффективности в рамках однократной имитации. Полученные значения показателя анализировались на предмет сохранения эффективности инвестиции.

По результатам анализа сформирована следующая таблица для показателя чистой настоящей стоимости, на основании которой можно сделать ряд интересных выводов (табл. 3).

Таблица 3. Результаты расчетов при моделировании по методу Монте-Карло для критерия NPV

Характеристики критерия	Материалы	Электроэнергия	Заработная плата	Ставка процента
Среднее значение показателя NPV, тыс. рублей	-3 051 074	1 102 681	1 030 148	765 862
Мода распределения фактора	2,5	0,75	2 000	0,25
Медиана распределения фактора	3	1	2 500	0,35
Среднее значение фактора	3,29	1,16	2 734,31	0,43
Отрицательные значения показателя NPV, шт.	283	0	0	52
Отрицательные значения показателя NPV, %	57	0	0	10,4
Общее число реализаций, шт.	500	500	500	500
Число значений NPV > 1000, шт.	179	468	322	165
Процент значений NPV > 1000, %	36	94	64	33

Отметим, что при рассмотренных изменениях факторов электроэнергии, заработной платы и ставки процента чистая настоящая стоимость изменяется в положительной области значений. Однако рассмотренные отклонения в стоимости материалов существенно влияют на значение эффективности инвестиции. Отрицательные значения получаются в более чем половине случаев.

Аналогичный анализ был проведен для показателя *IRR*. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты расчетов при моделировании по методу Монте-Карло для критерия *IRR*

Характеристики критерия	Материалы	Электроэнергия	Заработная плата
Среднее значение показателя <i>IRR</i>	166	78	75
Мода распределения фактора	2,5	0,75	2000
Медиана распределения фактора	3	1	2500
Среднее значение фактора	3,29	1,16	2734,31
Число реализаций, для которых невозможно определить значение <i>IRR</i> , шт.	275	0	0
Число реализаций, для которых невозможно определить значение <i>IRR</i> , %	55	0	0
Общее число реализаций, шт.	500	500	500
Число реализаций, при которых <i>IRR</i> > 60%, шт.	200	498	475
Процент реализаций, при которых <i>IRR</i> > 60%	40	99,6	95

Исследование критерия *IRR* также подтверждает, что колебания стоимости материалов существенно повышают рискованность реализации предлагаемого проекта. Среднее значение *IRR* для этого показателя максимально, но и количество случаев, когда невозможно определить *IRR*, также велико, т. е. данный фактор является самым рискованным в группе рассматриваемых факторов.

Отсюда можно сделать вывод, что чувствительность выгоды проекта к изменению стоимости материалов существенна, следовательно, необходимо очень тщательно отнестись к анализу стоимости материалов, прежде чем приступить к реализации проекта. Требуется провести дополнительный анализ возможных отклонений цены материалов от существующей в настоящее время. В случае оценки вероятности изменения цены как высокой, возможно, следует отказаться от реализации выгодного проекта, признав его слишком рискованным.

В целом можно утверждать, что если анализ чувствительности и анализ по методу Монте-Карло дают результаты, удовлетворяющие по своим характеристикам требованиям инвестора, проект (последовательность проектов) может быть рекомендован для реализации.

По результатам, полученным по методу Монте-Карло выборки, был проведен анализ основных ее характеристик, который подтверждает все сделанные выше выводы (табл. 5).

Таблица 5. Стандартное отклонение полученных значений по показателям

Фактор	NPV	IRR
Материалы	7 900 817	0,898
Электроэнергия	68 714	0,029
Заработная плата	196 541	0,087
Ставка	576 230	–

Вероятность получения отрицательных значений при расчете NPV с изменением различных факторов — электроэнергии, заработной платы и ставки — равна нулю, а при изменении стоимости материалов равна 0,566.

Анализ полученных значений показателей демонстрирует, что показатель чистой настоящей стоимости наиболее чувствителен к изменению стоимости материалов (вплоть до получения отрицательных значений показателя), так же как и показатель внутренней нормы доходности. Чувствительность этих показателей к изменению других факторов существенно ниже.

В некоторых случаях можно воспользоваться графическим представлением результатов для оценки риска проекта в виде построения профиля риска [7, с. 105]. Кривые профиля риска позволяют на основании склонности к риску сделать выбор в пользу наиболее подходящего проекта. Так, для нашего примера можно рассчитать кумулятивный профиль риска по рассматриваемым факторам [7, с. 107].

При выборе из двух проектов в случае, когда кривые профиля риска проекта не пересекаются, выбор однозначен в пользу проекта, кривая которого расположена выше. При пересечении кривых (рис. 3) необходимо учитывать склонность инвестора к риску.

В рассматриваемом примере эти кривые показывают, какой фактор для проекта является более рисковым или колебания какого фактора могут привести к нежелательным для инвестора изменениям показателя эффективности.

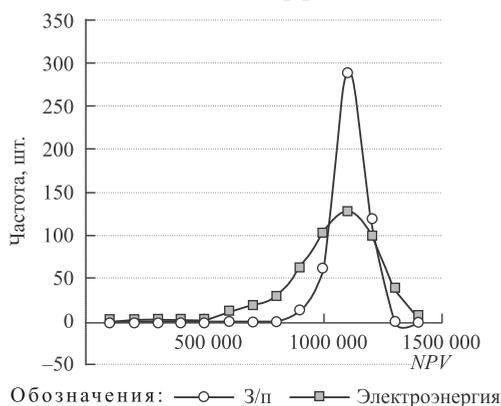


Рис. 3. Профиль риска проекта по чистой настоящей стоимости.

Кривые позволяют оценивать распределение показателя в зависимости от изменчивости факторов. Так, например, риск изменчивости выше по фактору «электроэнергия» и ниже по фактору «зарплата».

При построении кумулятивного профиля по внутренней норме доходности график выглядит следующим образом (рис. 4).

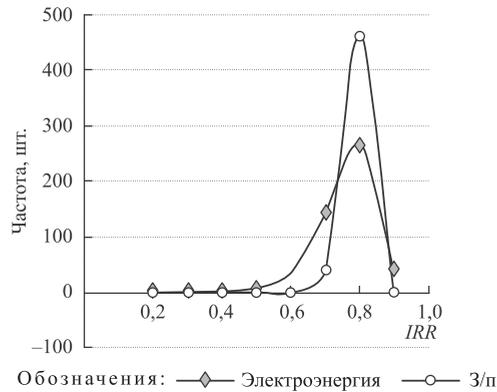


Рис. 4. Профиль риска проекта по внутренней норме доходности.

Как правило, при расчете рассматривается тот фактор, изменение которого является ключевым, т. е. колебания которого дают максимальное отклонение результирующего показателя.

На рис. 5 также можно продемонстрировать, что кривые рисков факторов расположены в данном случае ближе к оси. Чем выше кривая фактора, там меньше риск влияния его изменения на результирующий показатель.

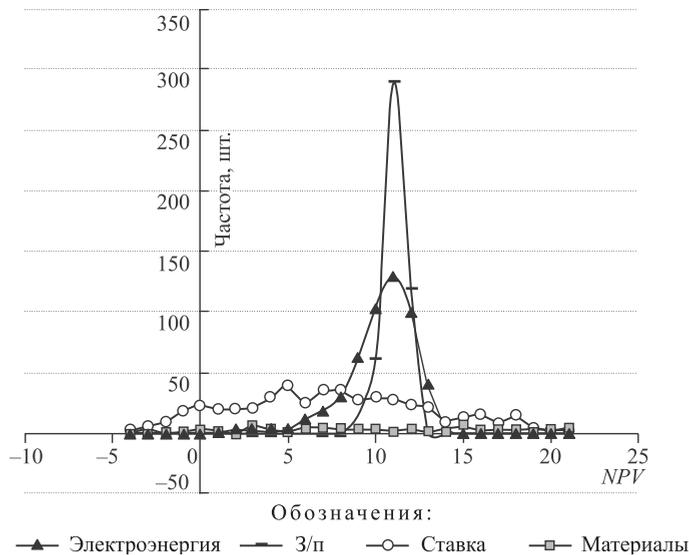


Рис. 5. Профиль риска проекта по всем факторам.

Также в этом методе можно предусмотреть пересчет одновременно по нескольким факторам. Однако основная сложность решения такой задачи моделирования сразу нескольких величин состоит в том, что они являются, как правило, коррелированными и необходимо уточнять связь между их изменениями для корректного расчета результирующих значений. Рассмотрение таких кривых дает исследователю возможность оценить сравнительные показатели риска рассматриваемых проектов и выбрать в соответствии с собственными рисковыми предпочтениями наилучший проект.

Сформулируем следующие рекомендации по рассматриваемому в примере проекту: инвестору для анализа рисков по проекту необходимо более тщательно проанализировать рынок материалов, оценить изменчивость цен на материалы и застраховать себя заключением долгосрочных контрактов без возможности изменения цены.

Результаты, получаемые по методу Монте-Карло, достаточно просто интерпретируемы, они отражают учет изменения факторов на достаточно большом интервале и учитывают вероятностную природу экономических факторов. Таким образом, этот метод позволяет при реализации любого инвестиционного проекта оценить влияние неопределенности на конечный результат по проекту. Применение анализа чувствительности и моделирования по методу Монте-Карло также возможно и для задач определения оптимального периода использования проектов [8, с. 131–135].

Рассмотренные методы обладают рядом существенных недостатков. В проведенном анализе факторы, влияющие на денежный поток от проектов, были рассмотрены отдельно, без учета влияния их изменчивости на изменения всех остальных факторов. В то же время очевидно, что изменение одного фактора, как правило, сопровождается изменением других. Рассмотренный анализ проводится по одному фактору, следовательно, при фиксации значений по остальным факторам он не позволяет учитывать их совместное изменение и может приводить к некоторым слишком общим выводам по инвестиционному проекту. Для проведения более подробного анализа рисков необходимо использование более сложных вероятностных моделей с учетом совместного изменения факторов во времени.

Литература

1. *Воронцовский А. В.* Управление рисками. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005.
2. *Glasserman P.* Monte Carlo Methods in Financial Engineering. New York: Springer-Verlag, 2004.
3. *Воронцовский А. В., Дикарев А. Ю., Ахобадзе Т. Д.* Применение имитационного моделирования для обоснования инвестиционных программ в условиях неопределенности // *Финансы и бизнес.* 2009. № 3. С. 135–151.
4. *Айвазян С. А., Афанасьев М. Ю., Афанасьев А. М.* Оценка экономической эффективности мероприятий банка по рекламированию кредитных продуктов // *Прикладная эконометрика.* 2009. № 4. С. 46–59.
5. *Ермаков С. М.* Метод Монте-Карло и смежные вопросы. М.: Наука, 1975.
6. *Айвазян С. А., Мхитарян В. С.* Прикладная статистика и основы эконометрики: учеб. для вузов. М.: ЮНИТИ, 1998. 1022 с.
7. *Волков И., Грачева М.* Проектный анализ. М.: ЮНИТИ, 1998. 423 с.
8. *Холодкова В. В.* Определение оптимального периода использования инвестиций // *Вестн. С.-Петербурга. ун-та.* 2001. Сер. 5: Экономика. Вып. 3. С. 131–135.

Статья поступила в редакцию 5 марта 2012 г.