

Научная статья

УДК 338.28; 51-77

JEL D810; L710; Q350

DOI 10.25205/2542-0429-2023-23-2-52-69

Критерий Коццолино как инструмент стоимостной оценки проектов геологоразведки на нефть и газ с учетом поправки на неприятие риска

Сергей Юрьевич Ковалев¹

Инна Юрьевна Блам²

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия

¹kovalev.2009@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-7516-5091>

²inna@ieie.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7040-3540>

Аннотация

Характерное для проектов геологоразведочных работ на нефть и газ сочетание высокого потенциального выигрыша и низкой вероятности успеха приводит к необходимости вводить поправку на неприятие риска при их стоимостной оценке. Среди множества предлагаемых экономической наукой способов стоимостной оценки с поправкой на неприятие риска наиболее удобным представляется критерий Коццолино. Однако практика показала, что использование этого критерия для оценки оптимальной доли участия компании в рискованном предприятии приводит к контринтуитивным рекомендациям: при возрастании величины потенциального выигрыша оптимальная доля сначала возрастает, а затем убывает. Эта проблема вызвала оживленную дискуссию в отраслевой литературе, но ясной и приемлемой процедуры для ее преодоления так и не было предложено, за исключением паллиативных попыток введения в модель дополнительных ограничений либо советов полностью отказаться от применения критерия Коццолино в данном контексте.

В статье показано, что замеченный парадоксальный результат поддается объяснению, если выйти за узкие рамки задачи выбора доли участия в проекте и рассмотреть всю ситуацию как частный случай более общей задачи построения инвестиционного портфеля. Научная новизна работы состоит в предложенном авторами разложении формулы определения оптимальной доли участия в проекте на две составные части, аналогичные эффектам замены и дохода. Каждое из слагаемых имеет интуитивно понятный экономический смысл и задает однозначную реакцию зависимой переменной на изменение величины потенциального выигрыша. Разложение позволяет численно оценить сравнительную силу двух разнонаправленных эффектов, тем самым проливая дополнительный свет на природу исходной задачи.

© Ковалев С. Ю., Блам И. Ю., 2023

Ключевые слова

нефть и газ, разведка и добыча, геологоразведка, экономический риск, неприятие риска, управление рисками, стоимостная оценка проектов, стратегическое планирование и управление, критерий Коццолино

Источник финансирования

Статья подготовлена в рамках выполнения работ по плану НИР ИЭОПИ СО РАН по проекту «Ресурсные территории Востока России и Арктической зоны: особенности процессов взаимодействия и обеспечения связанности региональных экономик в условиях современных научно-технологических и социальных вызовов» (№ 121040100278–8).

Для цитирования

Ковалев С. Ю., Блам И. Ю. Критерий Коццолино как инструмент стоимостной оценки проектов геологоразведки на нефть и газ с учетом поправки на неприятие риска // Мир экономики и управления. 2023. Т. 23, № 2. С. 52–69. DOI 10.25205/2542-0429-2023-23-2-52-69

The Cozzolino Criterion as a Tool of Oil and Gas Exploration Projects Evaluation Adjusted for Risk Aversion

Sergey Yu. Kovalev¹, Inna Yu. Blam²

Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS

¹kovalev.2009@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-7516-5091>

²inna@ieie.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7040-3540>

Abstract

Oil and gas exploration projects are typically characterized by a combination of high potential gains and extremely low chances of success, so their appraisal requires some risk aversion discounting. Amongst many risk aversion-adjusted methods of project valuation proposed by economists, the Cozzolino criterion appears to be the most appropriate. However, being applied to the problem of determining the optimum working interest in an exploration venture, this criterion yields an anomalous result such that the optimum working interest first increases and then decreases as the potential gain increases. This problem has inspired an intensive discussion in the oil and gas economics literature but, apart from attempts to overcome the problem by adding extraneous constraints that are somewhat palliative in nature, there has not been proposed a clear and acceptable procedure for overcoming all difficulties.

In this article, it is shown that the paradoxical result can be explained if one steps outside the narrow limits of the working interest optimization task and view the issue as a part of a broader problem of building an investment portfolio. The authors propose a decomposition of the total impact of the project gain change on the optimum working interest into two components that resemble the substitution effect and the income effect. Both components have intuitively understandable economic sense and unambiguous sign. The resulting sign of the total impact depends upon the relative sizes of the two oppositely directed effects that can be calculated numerically, thus providing a better understanding of the issue.

Keywords

upstream oil and gas, hydrocarbon exploration, uncertainty, economic risk, risk aversion, project evaluation, certainty equivalence, Cozzolino

Funding

The research was carried out with the plan of research work of IEIE SB RAS, project “Resource-rich territories of Russia’s East and Arctic zones: peculiar processes of interaction and interconnection between regional economies under contemporary conditions of scientific-technological and social challenges”, № 121040100278–8.

For citation

Kovalev S. Yu., Blam I. Yu. The Cozzolino Criterion as a Tool of Oil and Gas Exploration Projects Evaluation Adjusted for Risk Aversion. *World of Economics and Management*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 52–69. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2023-23-2-52-69

Введение

Современные стандарты технико-экономического обоснования проектов в нефтегазовой отрасли предполагают использование вероятностного подхода. Нефтегазовые проекты, в особенности в сегменте «разведка и добыча», характеризуются значительной неопределенностью ключевых геологических и ценовых параметров, недоучет которой способен привести к дорогостоящим ошибкам при принятии инвестиционных решений. При анализе инвестиционной привлекательности проектов приходится исходить из того, что все расчетные показатели – прежде всего чистый дисконтированный доход (ЧДД) – являются случайными величинами [1–3]. Разработанные к настоящему моменту численные методы позволяют проводить необходимые расчеты и наглядно представлять возможные исходы проектов в виде вероятностных кривых ЧДД [4–6]. Прикладное программное обеспечение нефтесервисных компаний предусматривает возможность фокусировать внимание на оценке рисков и неопределенностей при оценке реальной стоимости проектов геологоразведочных работ (ГРП)¹.

Вероятностное описание сравниваемых альтернатив накладывает дополнительную ответственность на руководство компании, заключающуюся в необходимости выбрать формальный критерий стоимостной оценки проектов со случайным исходом. Среди множества предлагаемых экономической наукой критериев стоимостной оценки проектов, имеющих вероятностный исход, наилучшим представляется так называемый «критерий Коццолино» [7; 8], рассчитываемый по формуле

$$V_{\text{Код}}[\tilde{x}] = -\rho \cdot \ln \left[\sum_{i=1}^n \pi_i \cdot e^{-\frac{x_i}{\rho}} \right], \quad (1)$$

где $\tilde{x}$ – ЧДД проекта, рассматриваемый как случайная величина или «лотерея»; $i, i = 1, 2, \dots, n$, – индекс возможных исходов проекта; x_i – значение ЧДД, соответствующее исходу i ; π_i ($0 \leq \pi_i \leq 1$; $\sum_{i=1}^n \pi_i = 1$) – вероятность исхода i ; ρ – параметр, имеющий денежную размерность и задающий нормативную «степень терпимости к риску» (*Risk Tolerance*); e – основание натуральных логарифмов.

В отличие от остальных подходов, учитывающих отрицательное отношение руководства компании к риску, критерий Коццолино можно использовать во всех ситуациях, где традиционно применяются показатели ЧДД и «матожидание ЧДД» – от простого ранжирования проектов до построения сложных инвестиционных стратегий методом «дерево принятия решений». Также он позволяет делегировать принятие подобных решений на нижние уровни корпоративной иерархии, поскольку заданное руководством компании значение параметра ρ обеспечивает согласованность всех полученных на его основе оценок. Наконец, простое увеличение инвестиционного бюджета компании не приводит к необходимости пересчитывать все ранее полученные оценки, как это приходится делать при использовании других критериев.

Поводом для написания данной статьи стали недавние публикации в отраслевой экономической литературе, в которых применимость формулы Коццолино

¹ Экономическая оценка и управление ресурсами. ООО «Технологическая компания Шлюмбергер». URL: https://digital.slb.ru/products/geox/economic_evaluation_and_resource_management/ (дата обращения: 01.03.2023)

к стоимостной оценке проектов ГРП на нефть и газ ставится под сомнение. Скептики приводят примеры того, как использование формулы (1) приводит к рекомендациям, противоречащим, по их мнению, базовым представлениям о закономерностях выбора в условиях неопределенности, и рекомендуют в таких случаях отказаться от ее применения в пользу альтернативных методик стоимостной оценки [9; 10]. Эти претензии нам кажутся весьма серьезными и заслуживающими внимательного разбора, в ходе которого экономический смысл формулы Коццолино и ее место среди других подходов к оценке инвестиционной привлекательности проектов станут более понятными.

Описание ситуации, когда применение критерия Коццолино вызывает сомнения

Разберем ситуацию, представленную в [9; 10] как повод для сомнений в применимости критерия Коццолино на практике.

Пример 1. Допустим, имеется проект геологоразведочных работ на нефть и газ, упрощенно описываемый в виде лотереи с двумя возможными исходами, успех (*success*) и неудача (*failure*), с вероятностями, соответственно, π_s и π_f ². Успех означает обнаружение запасов углеводородов рыночной ценностью R млн ден. ед., а неудача – отсутствие коммерческих запасов и необходимость списать в убытки затраты на ГРП, равные C млн ден. ед. Требуется найти оптимальную долю участия компании в этом проекте, W^* , предполагая, что остальную часть затрат и доходов проекта возьмет на себя гипотетический внешний инвестор³. Задача сводится к поиску значения W , максимизирующего величину критерия Коццолино

$$V_{\text{Коц}}(W) = -\rho \cdot \ln \left\{ \pi_s \cdot \exp \left(-\frac{(R-C) \cdot W}{\rho} \right) + \pi_f \cdot \exp \left(-\frac{-C \cdot W}{\rho} \right) \right\} \quad (2)$$

при условии $0 \leq W \leq 1$. Задача имеет аналитическое решение:

$$W^* = \frac{\rho}{R} \cdot \ln \left(\frac{\pi_s}{\pi_f} \cdot \frac{R-C}{C} \right). \quad (3)$$

Критиков критерия Коццолино смущает задаваемая формулой (3) неоднозначность реакции W^* на изменения параметра R – при увеличении R значение W^* может как возрастать, так и снижаться. Однако вторая ситуация характерна как раз для соотношений параметров, типичных для проектов ГРП – низкая вероятность успеха, высокий выигрыш в случае успеха. Допустим, $C = 1$ млн ден. ед., $R = 50$ млн ден. ед., $\pi_s = 10\%$, $\pi_f = 90\%$, $\rho = 5$ млн ден. ед. Тогда рассчитанная по формуле (3) оптимальная доля участия в проекте равна 16,95%, т. е. рекомендуемая сумма вложений в проект равна 169 500 ден. ед. Предположим теперь,

² Весь последующий анализ и выводы могут быть распространены и на случай более реалистичного описания неопределенности, присущей проектам ГРП, например, с использованием логнормального распределения.

³ Такая упрощенная постановка задачи помогает определить стартовую позицию компании в переговорах с потенциальными партнерами по проекту. Используя критерий Коццолино, можно сформулировать и решить задачу определения результатов торга между компаниями-партнерами по поводу распределения денежных потоков рискованного проекта ГРП, но такой анализ выходит за рамки данной статьи.

что руководство компании получает дополнительную информацию, в соответствии с которой величина предполагаемого денежного выигрыша в случае успеха проекта удваивается до $R = 100$ млн ден. ед. Перерасчет по формуле (3) дает новое значение оптимальной доли участия в проекте, равное 11,99%. Иначе говоря, односторонне *благоприятное* изменение параметров проекта приводит к тому, что рекомендуемая сумма вложений в проект *снижается* до 119 900 ден. ед.! Если же значение R возрастает до 150 млн ден. ед., то рекомендуемая сумма вложений в проект снижается до 93 600 ден. ед.

Критики формулы Коццолино считают, что полученный парадоксальный результат свидетельствует о фундаментальной непригодности формулы Коццолино к решению подобного рода задач и рекомендуют использовать альтернативные методы стоимостной оценки, например, формулу Келли [11]. Мы с этим мнением не согласны, однако для объяснения нашей позиции потребуется обращение к теоретическим основам формулы Коццолино.

Экономический смысл критерия Коццолино

Простейшим критерием сравнения проектов со случайным исходом является показатель «математическое ожидание ЧДД», $E[\tilde{x}]$. Этот критерий интуитивно понятен, а также обладает пятью важными свойствами, которые делают его удобным инструментом экономических расчетов. Список полезных свойств включает: (i) непрерывность; (ii) монотонность; (iii) согласованность расчетов в детерминистском и вероятностном случаях; (iv) независимость от наличия дополнительных проектов; (v) сильную инвариантность к смешиванию. Подробный разбор этих свойств можно найти, например, в [12. С. 460–470]. Конечно, использование критерия $E[\tilde{x}]$ предполагает, что руководство компании при сравнении проектов полностью игнорирует различия в количестве заключенного в них риска. Если же такие различия игнорировать невозможно, то критерий $E[\tilde{x}]$ можно модифицировать, введя в него «поправку на риск», равную произведению количества риска на принятую в компании нормативную денежную цену риска. «Математическое ожидание с поправкой на риск» (*Risk-Adjusted Expected Value*) находится по формуле

$$E_{R.A.}[\tilde{x}] = E[\tilde{x}] - \frac{1}{2 \cdot \rho} \cdot \sigma_{\tilde{x}}^2, \quad (4)$$

где риск измеряется дисперсией значений $\tilde{x}$, $\sigma_{\tilde{x}}^2$, а роль цены риска играет множитель, обратный удвоенному значению параметра «степень терпимости к риску», ρ . Критерий $E_{R.A.}[\tilde{x}]$ привлекателен своей простотой и интуитивно понятным экономическим смыслом, однако, к большому сожалению, он не всегда обладает свойствами (i)–(v), а потому не может служить универсальным инструментом стоимостной оценки. В качестве иллюстрации приведем следующий пример.

Пример 2. Допустим, принятое в компании нормативное значение ρ равно 5 млн ден. ед. Рассмотрим проекты *A* и *B* с бинарными исходами «успех – неудача», причем известно, что при успешном исходе любого из проектов его ЧДД

будет равен 200 млн ден. ед., а при неудачном – только 120 млн ден. ед. Исходы проектов статистически независимы. Проекты различаются вероятностями успеха: у проекта *A* она равна 50 %, а у проекта *B* – лишь 25 %. Заметим, что проект *A* явно лучше проекта *B* в смысле вероятностного доминирования. Однако рассчитанная по формуле (4) стоимостная оценка проекта *A* ниже, чем у проекта *B*: $E_{R.A.}[\tilde{x}_A] = 0$, $E_{R.A.}[\tilde{x}_B] = 20$. Говоря формальным языком, мы показали, что стоимостная оценка $E_{R.A.}[\tilde{x}]$ в общем случае не обладает свойством монотонности.

Хотя критерий $E_{R.A.}[\tilde{x}]$ не может служить универсальным инструментом стоимостной оценки, он наглядно иллюстрирует экономический смысл критерия Коццолино. Дело в том, что формула (4) представляет собой приближенное описание формулы (1), полученное путем разложения последней в ряд Тейлора в окрестности точки $E[\tilde{x}]$. Особый интерес представляет случай, когда ЧДД проекта имеет нормальное вероятностное распределение, $\tilde{x} \sim N(\mu, \sigma^2)$. В этом случае результаты расчетов по формулам (1) и (4) совпадают не только в окрестности точки матожидания ЧДД, но и на всей области значений ЧДД⁴.

Поскольку стандарты учета фактора неопределенности при описании инвестиционных проектов нефтегазовой отрасли предполагают мультипликативное накопление случайных отклонений, вероятностное распределение ЧДД обычно имеет далекий от нормального, скошенный вид [3; 15]. Применять формулу (4) к таким проектам некорректно, необходимо использовать ее «расширенную версию», формулу (1).

Вопрос о том, каким именно образом руководство компании должно определять для себя приемлемое значение параметра ρ , остается открытым⁵. Было предложено несколько игровых процедур, позволяющих с разной степенью достоверности решать эту задачу. Типичная процедура сводится к нахождению максимальной суммы, которую компания согласна заплатить за участие в лотерее, специально составленной таким образом, чтобы максимальная величина ставки была равна или кратна искомому значению ρ [15; 16].

Чем альтернативные критерии стоимостной оценки рискованных проектов уступают критерию Коццолино

С точки зрения академической экономической науки, в качестве стоимостной оценки рискованного актива может быть использована любая величина $V_{C.E.}[\tilde{x}]$, являющаяся решением уравнения:

$$u(V_{C.E.}[\tilde{x}]) = E[u(\tilde{x})] = \sum_{i=1}^n \pi_i \cdot u(x_i), \quad (5)$$

где $\tilde{x}$ – ЧДД проекта, рассматриваемый как случайная величина или «лотерея»; i , $i = 1, 2 \dots, n$, – индекс возможных исходов проекта; x_i – значение ЧДД,

⁴ Для того чтобы применить формулу (1), нормальное вероятностное распределение нужно приближенно представить в виде дискретного вероятностного распределения, выбрав достаточно большое число исходов, n .

⁵ В работе [14] предпринята попытка оценить значения ρ на основе фактических данных об участии нефтегазовых компаний в проектах с различной степенью риска.

соответствующее исходу i ; π_i ($0 \leq \pi_i \leq 1$; $\sum_{i=1}^n \pi_i = 1$) – вероятность исхода i ; $E[\cdot]$ – оператор математического ожидания; $u(x)$ – некоторая функция, которая, с точки зрения руководства компании, наилучшим образом описывает его предпочтения. Иначе говоря, оценка $V_{C.E.}$ представляет собой «гарантированный денежный эквивалент» (*Certainty Equivalent*) лотереи $\{(x_1, \pi_1), \dots, (x_n, \pi_n)\}$. Академическая наука не накладывает никаких априорных ограничений на вид функции $u(x)$, оставляя этот выбор руководству компании и указывая лишь на то, что типичному случаю отрицательного отношения к риску соответствует монотонно возрастающая и вогнутая функция $u(x)$.

Критерий Коццолино является решением уравнения (5) в частном случае $u(x) = -e^{-\frac{x}{\rho}}$. Главным его достоинством является обладание всеми пятью указанными выше полезными свойствами показателя $E[\tilde{x}]$. Благодаря этому оценка $V_{\text{Коццолино}}[\tilde{x}]$ может быть использована во всех случаях, где традиционно применяется показатель $E[\tilde{x}]$, – при построении сложных инвестиционных стратегий методом «дерево принятия решений», при формировании инвестиционного портфеля компании, при выборе позиции в переговорах с партнерами о совместном участии в том или ином проекте.

Альтернативные методы стоимостной оценки подразумевают иной вид функции $u(x)$. Например, при $u(x) = \ln(B + x)$ получаем критерий Келли:

$$V_{\text{Kelly}}[\tilde{x}] = -B + \prod_{i=1}^n (B + x_i)^{\pi_i}, \quad (6)$$

где B – некоторая константа, имеющая денежную размерность. В отличие от критерия Коццолино, критерий Келли не обладает свойствами (iii)-(v), что затрудняет его использование на практике. В качестве иллюстрации рассмотрим проект из Примера 1. Его стоимостная оценка по Келли находится по формуле

$$V_{\text{Kelly}} = (B + R - C)^{\pi_s} \cdot (B - C)^{\pi_f} - B. \quad (7)$$

Однако этот же самый проект можно описать иначе, в виде последовательности двух событий. На начальном этапе компания расходует денежные средства в объеме C . Завершающий этап отличается от начального вероятностным характером денежных потоков, которые описываются случайной величиной $\tilde{R}$, принимающей значения R либо 0 с вероятностями π_s и π_f . На момент принятия инвестиционного решения ЧДД проекта представляет собой разницу между случайной величиной $\tilde{R}$ и гарантированными издержками C , и его стоимостная оценка находится по формуле

$$V = -C + [(B + R)^{\pi_s} \cdot B^{\pi_f} - B]. \quad (8)$$

Замечаем, что оценки (7) и (8) не равны друг другу. При типичных значениях параметров расхождение может быть весьма значительным. Оно имеет место вследствие нарушения свойства (iii), т. е. рассогласованности расчета критерия в детерминистском и вероятностном случаях. Получается, что стоимостная оценка зависит не только от фактических действий при осуществлении проекта,

но и от их интерпретации. Единственным видом стоимостной оценки, которому не свойствен этот недостаток, является критерий Коццолино.

Разбор проблемной ситуации

Для того чтобы объяснить парадоксальный результат, полученный в Примере 1, воспользуемся известным приемом экономической науки, а именно: разложением интересующего нас явления на две составные части – *эффект замены* (ЭЗ) и *эффект дохода* (ЭД) [17. С. 34]. Допустим, $R_B > R_A$, а соответствующие этим значениям оптимальные доли участия в проекте положительны и меньше 100 %. Выпишем разницу значений W_B^* и W_A^*

$$W_B^* - W_A^* = \frac{\rho}{R_B} \cdot \ln \left(\frac{\pi_s}{\pi_f} \cdot \frac{R_B - C}{C} \right) - \frac{\rho}{R_A} \cdot \ln \left(\frac{\pi_s}{\pi_f} \cdot \frac{R_A - C}{C} \right) \quad (9)$$

и представим ее в виде суммы двух слагаемых:

$$W_B^* - W_A^* = \text{ЭЗ} + \text{ЭД}, \quad (10)$$

где

$$\text{ЭЗ} = \frac{\rho}{C} \cdot \ln \left(\frac{R_B - C}{R_B} \right) - \frac{\rho}{C} \cdot \ln \left(\frac{R_A - C}{R_A} \right), \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{ЭД} = & \frac{\rho}{C} \cdot \ln \left(\frac{R_B}{R_B - C} \cdot \left(\frac{\pi_s}{\pi_f} \cdot \frac{R_B - C}{C} \right)^{\frac{C}{R_A}} \right) - \\ & - \frac{\rho}{C} \cdot \ln \left(\frac{R_A}{R_A - C} \cdot \left(\frac{\pi_s}{\pi_f} \cdot \frac{R_A - C}{C} \right)^{\frac{C}{R_A}} \right). \end{aligned} \quad (12)$$

Нетрудно убедиться, что $\text{ЭЗ} > 0$ при $R_B > R_A$. Несколько сложнее показать, что $\text{ЭД} < 0$. Для этого достаточно продемонстрировать, что функция

$$f(z) = \ln \left((1 + 1/z) \left((\pi_s/\pi_f)z \right)^{\frac{1}{1+z}} \right)$$

убывает по z . Продифференцируем функцию $f(z)$:

$$f'(z) = \left[\ln(z + 1) - \ln(z) + \frac{\ln((\pi_s/\pi_f)z)}{1 + z} \right]' = - \frac{\ln((\pi_s/\pi_f)z)}{(1 + z)^2}.$$

При $z = (R - C)/C$ производная $f'(z)$ всегда имеет отрицательный знак, так как выполнено условие $(\pi_s/\pi_f)z > 1$, поскольку ненулевая доля участия возможна лишь в проектах с положительным значением матожидания ЧДД: $\pi_s(R - C) - \pi_f C > 0$.

Таким образом, знак разности $W_B^* - W_A^*$ зависит от сравнительной силы двух эффектов, ЭЗ и ЭД. Сопоставив формулы (11) и (12), нетрудно показать, что при относительно низких значениях R действие первого эффекта сильнее, и их сумма

имеет положительный знак, в то время как при достаточно больших значениях R эффект дохода доминирует над эффектом замены, и дальнейшее возрастание этого параметра приводит к уменьшению оптимальной доли участия в проекте⁶.

Для того чтобы объяснить экономический смысл формул (11) и (12), рассмотрим сначала умозрительную ситуацию, когда проект, описанный в Примере 1, осуществляется сам по себе третьими лицами, а на финансовом рынке делаются ставки на его результат. Иначе говоря, на рынке можно приобрести активы двух видов – S и F , каждый из которых представляет собой право на получение в будущем 1 ден. ед., но выплаты эти обусловлены либо успехом проекта (актив S), либо его неудачей (актив F). Имея в своем портфеле x_s единиц актива S и x_f единиц актива F , инвестор обеспечивает себе будущий доход в x_s ден. ед. при успешном исходе проекта и в x_f ден. ед. – при его неудаче. Каждому инвестиционному портфелю такого вида сопоставим точку на плоскости, отложив по оси абсцисс количество входящих в портфель активов S , а по оси ординат – соответствующее количество активов F (см. рис. 1–4).

Предпочтения инвестора в отношении активов S и F как возможных объектов вложения капитала проиллюстрированы на рис. 1–4 кривыми безразличия, каждая из которых является геометрическим местом точек, соответствующих инвестиционным портфелям (x_s, x_f) , имеющим равную стоимостную оценку:

$$-\rho \cdot \ln \left\{ \pi_s \cdot \exp \left(-\frac{x_s}{\rho} \right) + \pi_f \cdot \exp \left(-\frac{x_f}{\rho} \right) \right\} = \text{const.} \quad (13)$$

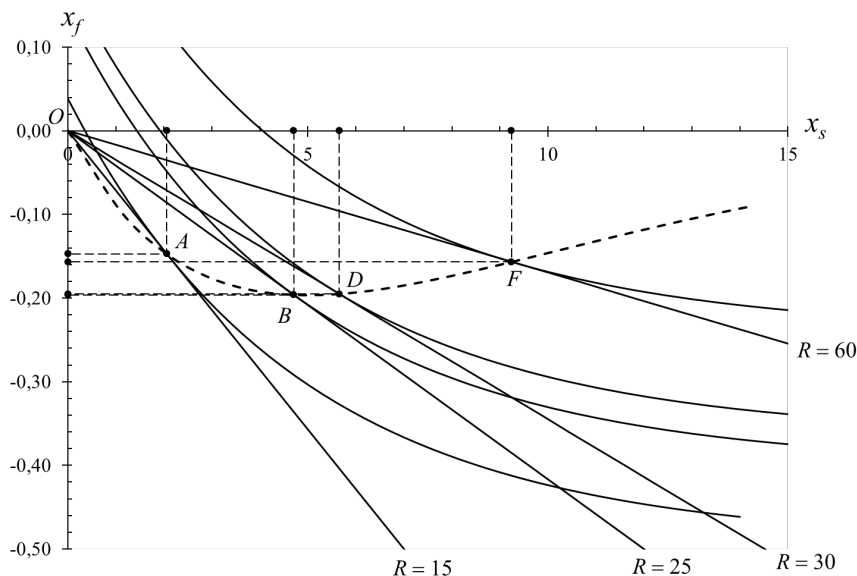


Рис. 1. Неоднозначная зависимость оптимальной доли участия в проекте от параметра R

Fig. 1. Ambiguous dependence of the optimal working interest on the parameter R value

⁶ Пороговое значение R , разделяющее области убывания и возрастания W^* по R , задано условием $(\pi_s \cdot (R - C)) / (\pi_f \cdot C) = e^{\frac{R}{R-C}}$.

Допустим, инвестор располагает бюджетом в B ден. ед., который он собирается израсходовать на покупку активов S и F по рыночным ценам p_s, p_f . Его задача состоит в выборе таких значений x_s, x_f , которые бы максимизировали выражение (13) при бюджетном ограничении

$$p_s \cdot x_s + p_f \cdot x_f = B. \quad (14)$$

Решаем эту задачу и находим:

$$x_s^* = \frac{B}{p_s + p_f} - \frac{p_f}{p_s + p_f} \cdot \rho \cdot \ln \left[\frac{p_s}{p_f} \cdot \frac{\pi_f}{\pi_s} \right], \quad (15)$$

$$x_f^* = \frac{B}{p_s + p_f} - \frac{p_s}{p_s + p_f} \cdot \rho \cdot \ln \left[\frac{p_f}{p_s} \cdot \frac{\pi_s}{\pi_f} \right]. \quad (16)$$

Формулы (15) и (16) содержат в себе ключ к пониманию главной особенности предпочтений, описываемых критерием Коццолино. Она состоит в том, что спрос на рискованные активы, по сути, не зависит от имеющегося бюджета. Если бюджет увеличить на некоторую сумму ΔB , то инвестор израсходует ее на приобретение дополнительного *безрискового* портфеля, куда активы S и F войдут в равных количествах:

$$(\Delta x_s, \Delta x_f) = (\Delta B / (p_s + p_f), \Delta B / (p_s + p_f)).$$

Иначе говоря, структура рискованной части инвестиционного портфеля определяется выбором при $B = 0$. В этом случае инвестор покупает оптимальное количество актива S , финансируя его покупку занятием короткой позиции по активу F . При $B > 0$ структура рискованной части портфеля остается прежней, а все дополнительные деньги вкладываются в безрисковый актив – либо путем формирования безрискового портфеля из активов S и F , либо путем покупки отдельного безрискового актива по рыночной цене, которая ввиду выполнения стандартного условия «отсутствия возможностей для арбитража» должна быть равной $(p_s + p_f)$. Именно это свойство критерия Коццолино обеспечивает ему ключевое преимущество перед другими критериями, задаваемыми формулой (5), а именно – возможность оценивать проекты по отдельности, гарантируя, что сумма оценок проектов, входящих в инвестиционный портфель, всегда окажется равной оценке портфеля, рассматриваемого как единое целое⁷. Благодаря этому свойству логику вложений в один отдельно взятый проект можно описывать кривыми на рис. 1–4, вынося за скобки вопрос о вложениях в другие активы.

Теперь вернемся к условиям Примера 1. В рассматриваемой там ситуации не существует конкурентного рынка активов S и F . Однако выбор компанией доли участия в проекте, W ($0 \leq W \leq 1$), эквивалентен приобретению активов S и F в объемах:

$$x_s = W \cdot (R - C), \quad x_f = -W \cdot C. \quad (17)$$

Уравнения (17) задают линейную зависимость между x_s и x_f , очень похожую на бюджетное ограничение (14), если принять $p_s = C/R$, $x_f = (R - C)/R$, $B = 0$:

⁷ При условии статистической независимости исходов этих проектов.

$$(C/R) \cdot x_s + ((R - C)/R) \cdot x_f = 0, \quad (18)$$

где $0 \leq x_s \leq (R - C)$, $-C \leq x_f \leq 0$. Таким образом, выбор доли участия в проекте сводится к выбору точки на отрезке, концы которого имеют координаты $(0;0)$ и $(R - C; -C)$.⁸ Координаты $(\cdot < -C; -C)$ соответствуют стопроцентному участию в проекте, $(0;0)$ – отказу от участия, а в общем случае доля участия равна

$$W = \frac{x_s}{R-C} = \frac{|x_f|}{C}. \quad (19)$$

Оптимальный выбор W соответствует точке касания бюджетной линии, заданной уравнением (18) и наивысшей доступной кривой безразличия. На рис. 1 показаны четыре такие точки – A , B , D и F , – иллюстрирующие выбор при $R = 15, 25, 30$ и 60 млн ден. ед. Они позволяют проследить, что происходит с оптимальным выбором при возрастании значения R . Увеличение R приводит к снижению p_s , возрастанию p_f и повороту бюджетной линии против часовой стрелки вокруг начала координат, в результате чего точка $(x_s^*; x_f^*)$ меняет свое положение. Поскольку значение C остается постоянным, величина $W^* = |x_f^*|/C$ изменяется пропорционально приращению $|x_f^*|$. Иначе говоря, смещение точки оптимального выбора вниз соответствует возрастанию значения W^* , а смещение ее вверх соответствует его снижению. Из рис. 1 видно, что может наблюдаться как первое (переход из точки A в точку B), так и второе (переход из точки D в точку F). Для того чтобы выяснить причины такого различия в поведении W^* , рассмотрим эти случаи подробнее.

Реакция W^* на возрастание значения R с 15 млн ден. ед. до 25 млн ден. ед. показана на рис. 2. Начальной и конечной точкам оптимального выбора, A и B , соответствуют значения $W_A^* = 14,7\%$ и $W_B^* = 19,6\%$. Кроме того, к исходной кривой безразличия проведена касательная параллельно проходящей через точку B бюджетной линии, так что тангенс ее наклона равен $-C/(R_B - C) = -\frac{1}{24}$. Эта вспомогательная бюджетная линия задает область выбора в умозрительной ситуации, когда руководство компании имеет возможность выбрать долю участия в проекте при $R_B = 25$, но также связано дополнительным обязательством уплатить некоторую фиксированную сумму M вне зависимости от исхода проекта и от выбранной доли участия. Иначе говоря, речь идет о выборе оптимального портфеля $(x_s^*; x_f^*)$ при $p_f = (R_B - C)/R = \frac{24}{25}$, $p_s = C/R_B = \frac{1}{25}$, $B = -M$.

При этом величина M подобрана таким образом, чтобы в точности компенсировать компании благоприятный эффект от возрастания R с 15 до 25 млн ден. ед. и оставить стоимостную оценку неизменной, что проиллюстрировано касанием вспомогательной бюджетной линии с исходной кривой безразличия в точке G . Из логики построения рис. 2 следует, что величина M задана формулой:

$$M = \rho \cdot \ln \left(\frac{1+1/z_A}{1+1/z_B} \cdot \frac{\left(\frac{\pi_s}{\pi_f}\right)^{1+z_A}}{\left(\frac{\pi_s}{\pi_f}\right)^{1+z_B}} \right), \quad (20)$$

⁸ При построении графиков на рис. 1 использовано заданное в Примере 1 значение $C = 1$ млн ден. ед.

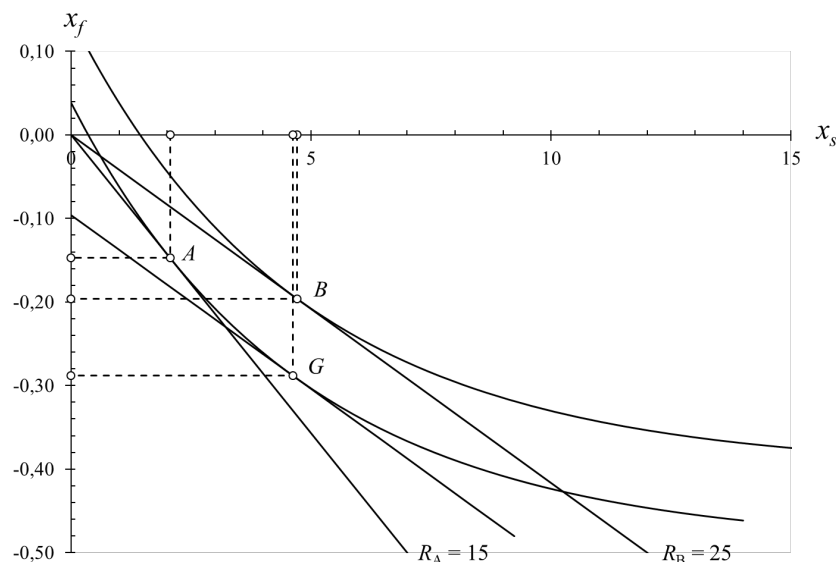


Рис. 2. Зависимость оптимальной доли участия в проекте от значения параметра R : эффект замены сильнее эффекта дохода

Fig. 2. Dependence of the optimal working interest on the parameter R value: the substitution effect dominates the income effect

где $z = p_f/p_s = (R - C)/C$. При заданных значениях параметров получаем $M = 91,7$ тыс. ден. ед.

Движение из точки A в точку G на рис. 2 в точности соответствует эффекту замены, описываемому формулой (11):

$$\text{ЭЗ} = \frac{|x_f^G| - |x_f^A|}{c} > 0. \quad (21)$$

Его экономический смысл состоит в том, что при относительном подорожании актива F и относительном удешевлении актива S в структуре оптимального портфеля, при прочих равных условиях, естественно ожидать частичную замену актива F на актив S . Однако для того чтобы обеспечить выполнение этих прочих равных условий, требуется уменьшить бюджет компании на величину M . В результате короткая позиция по активу F увеличивается, а W^* возрастает⁹. При заданных значениях параметров получаем $\text{ЭЗ} \approx +14,1$ процентных пунктов (п. п.).

Движение из промежуточной точки G в конечную точку B на рис. 2 в точности соответствует эффекту дохода, описываемому формулой (12):

$$\text{ЭД} = \frac{|x_f^B| - |x_f^G|}{c} = -\frac{M}{c} < 0. \quad (22)$$

⁹ Увеличение по абсолютной величине короткой позиции по активу F означает уменьшение количества этого актива в портфеле.

Его причина – параллельный сдвиг бюджетной линии, соответствующий возвращению компании той самой суммы M , которую ранее потребовалось изъять, чтобы выделить эффект замены. Как было показано выше, приращение дохода не влияет на структуру рисковей части инвестиционного портфеля. Дополнительные деньги расходуются на приобретение активов S и F в равных объемах, что эквивалентно приобретению безрискового актива. Короткая позиция по активу F уменьшается по абсолютной величине как раз на сумму M , а значит, уменьшается и выбранная доля участия в проекте W^* . При заданных значениях параметров имеем ЭД $\approx -9,2$ п.п. Поскольку эффект замены в данном случае превышает эффект дохода по абсолютной величине, в итоге наблюдается увеличение значения W^* на 4,9 п. п.

На рис. 3 показана реакция W^* на возрастание значения R с 20 млн ден. ед. до 37 млн ден. ед., интересная тем, что в данном случае эффекты замены и дохода в точности равны по абсолютной величине, в результате чего значение W^* остается неизменным.

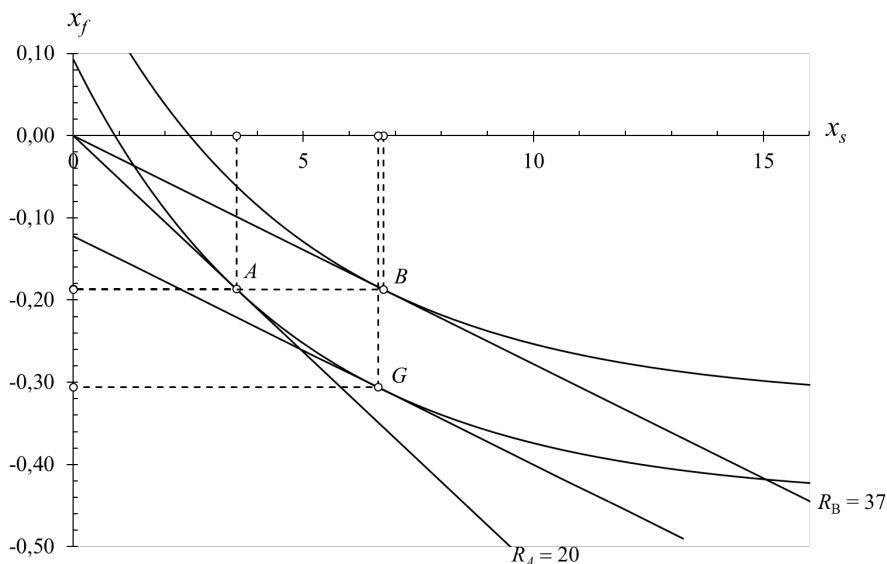


Рис. 3. Зависимость оптимальной доли участия в проекте от значения параметра R : эффекты замены и дохода взаимно погашаются

Fig. 3. Dependence of the optimal working interest on the parameter R value: the substitution effect and the income effect neutralize each other

Наконец, на рис. 4 показана ситуация, когда эффект дохода по абсолютной величине превосходит эффект замены. При возрастании R от 30 до 60 млн ден. ед. наблюдается снижение оптимальной доли участия в проекте с $W_D^* = 19,5\%$ до $W_F^* = 15,7\%$. При этом ЭЗ $\approx +8,5$ п. п., ЭД $\approx -12,3$ п. п. Заметим, что то же са-

мое наблюдается и при более высоких значениях R , включая заданные условиями Примера 1 (см. рис. 1).

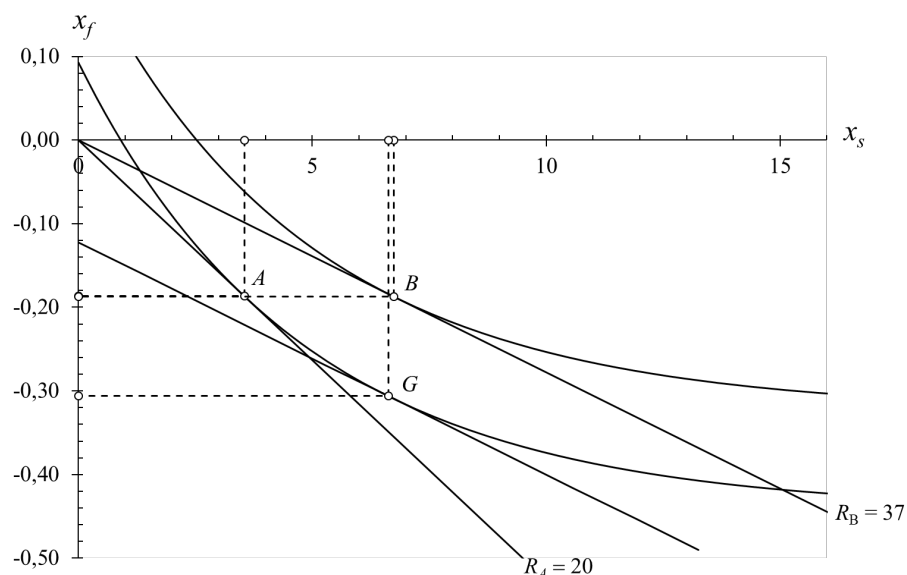


Рис. 4. Зависимость оптимальной доли участия в проекте от значения параметра R : эффект дохода сильнее эффекта замены

Fig. 4. Dependence of the optimal working interest on the parameter R value: the income effect dominates the substitution effect

Теперь мы можем предложить объяснение результатам Примера 1. Интуитивное представление о том, что возрастание предполагаемой суммы выигрыша в случае успеха предприятия должно приводить к желанию увеличить вложения в это предприятие, основано на неявном предположении об отсутствии эффекта дохода. Расчет по формуле (11) показывает, что если бы действовал только эффект замены, увеличение значения R с 50 до 100 млн ден. ед. сопровождалось бы возрастанием значения W^* с 16,95 % до 22,02 %, а дальнейшее увеличение R до 150 млн ден. ед. приводило бы к возрастанию W^* до 23,70 %.

Заключительные замечания

Используя критерий Коццолино, руководство компании получает возможность задавать единый внутрикорпоративный стандарт внесения поправки на риск в стоимостную оценку любого отдельно взятого проекта без необходимости каждый раз заново оценивать весь инвестиционный портфель компании в целом. Приблизительная формула (4) доступно объясняет экономический смысл этой поправки, интерпретируя ее как вычет из матожидания ЧДД, равный произведению количества риска, измеряемого дисперсией возможных значений ЧДД,

на нормативную цену риска, задаваемую выбранным значением параметра ρ . К сожалению, в рамках такого упрощенного представления невозможно объяснить некоторые контринтуитивные результаты применения критерия Коццолино на практике, например, при определении оптимальной доли участия в проектах ГРП на нефть и газ. Это способствует скептическому отношению к самой возможности универсального использования критерия Коццолино и рекомендациям в сомнительных случаях заменять его другими критериями, даже имеющими менее надежную теоретическую основу.

Мы считаем, что в таких случаях не стоит отказываться от использования критерия Коццолино, а для объяснения неоднозначности реакции оптимальной доли участия в проекте на возрастание величины потенциального выигрыша применять предложенное нами разложение формулы (3) на две компоненты, каждая из которых имеет вполне понятный экономический смысл.

Список литературы

1. **La Costa W. C. P., Milkov A. V.** Petroleum exploration portfolios generated with different optimization approaches: Lessons for decision-makers // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2022;214:110459, DOI: 10.1016/j.petrol.2022.110459
2. **Kok M. V., Kaya E., Akin S.** Estimation of Expected Monetary Values of Selected Oil Fields // *Energy Sources Part B: Economics, Planning & Policy*. 2006; 1(2):213–221. DOI: 10.1080/15567240500400788
3. **Demirmen F.** Reserves Estimation: The Challenge for the Industry // *Journal of Petroleum Technology*. 2007; 59(5):80–89. DOI: 10.2118/103434-ms
4. **Hood K. C., Yurewicz D. A., Steffen K. J.** Assessing continuous resources – building the bridge between static and dynamic analyses // *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 2012;60(3):1–22. DOI: 10.2113/gscpgbull.60.3.112
5. **Назаров В. И.** Концепция методики геолого-экономической оценки ресурсов нефти и газа // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2017; 12(1):5. DOI: 10.17353/2070-5379/12_2017
6. **Суровцев Д. А., Ассовский М. В.** Вероятностный метод оценки извлекаемых ресурсов углеводородов низкопроницаемых коллекторов на ранней стадии изученности и его реализация в ПО GeoX // *Недропользование XXI век*. 2015;5 4(4):86–95.
7. **Cozzolino J. M.** Controlling Risk in Capital Budgeting: A Practical Use of Utility Theory for Measurement and Control of Petroleum Exploration Risk // *The Engineering Economist*. 1979; 25(3): 161–186. DOI: 10.1080/00137917908902848
8. **Suslick S. B., Schiozer D. J.** Risk analysis applied to petroleum exploration and production: an overview // *Journal of Petroleum Science & Engineering*. 2004; 44(1/2): 1–9. DOI: 10.1016/j.petrol.2004.02.001
9. **Lerche I.** A Review of Economic Risking Methods Commonly Used in Hydrocarbon Exploration // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 2019; 9: 1579–1591. DOI: 10.1007/s13202-018-0602-9

10. **Lerche I., MacKay J.** Optimum Working Interest in Hydrocarbon Exploration Projects: The High Gain Situation Revisited for Cost, Wealth and Fear Factors // *Energy Exploration & Exploitation*. 2003; 21: 381–390. Available at: <https://www.jstor.org/stable/43754052>
11. **Kelly J. L.** A New Interpretation of Information Rate // *The Bell System Technical Journal*. 1956; 35(4): 917–926. Available at: https://www.princeton.edu/~wbialek/rome/refs/kelly_56.pdf
12. **Виленский П. Л., Смоляк С. А., Лившиц В. Н.** Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика. М.: Дело, 2002. 888 с.
13. **Tugan M. F., Sinayuc C.** A new fully probabilistic methodology and a software for assessing uncertainties and managing risks in shale gas projects at any maturity stage // *Journal of Petroleum Science & Engineering*. 2018; 168: 107–118. DOI: 10.1016/j.petrol.2018.05.001
14. **Walls M. R.** Corporate Risk-Taking and Performance: A 20 Year Look at the Petroleum Industry // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2005; 48: 127–140. DOI: 10.1016/j.petrol.2005.06.009
15. **Al-Harthy M. H.** Utility Efficient Frontier: An Application in the Oil and Gas Industry // *Natural Resources Research*. 2007; 16(4): 305–312. DOI: 10.1007/s11053-007-9056-3
16. **Mutavdzic M., Maybee B.** An Extension of Portfolio Theory in Selecting Projects to Construct a Preferred Portfolio of Petroleum Assets // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2015; 133: 518–528. DOI: 10.1016/j.petrol.2015.06.018
17. **Mas-Colell A., Whinston M. D. and Green J. R.** *Microeconomic Theory*. Oxford University Press; 1995. 1008 p. ISBN: 978-0195073409

References

1. **La Costa W. C. P., Milkov A. V.** Petroleum exploration portfolios generated with different optimization approaches: Lessons for decision-makers // *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2022, vol. 214, p. 110459. DOI 10.1016/j.petrol.2022.110459
2. **Kok M. V., Kaya E., Akin S.** Estimation of Expected Monetary Values of Selected Oil Fields // *Energy Sources Part B: Economics, Planning & Policy*, 2006, vol. 1, no. 2, pp. 213–221. DOI 10.1080/15567240500400788
3. **Demirmen F.** Reserves Estimation: The Challenge for the Industry // *Journal of Petroleum Technology*, 2007, vol. 59, no. 5, pp. 80–89. DOI 10.2118/103434-ms
4. **Hood K. C., Yurewicz D. A., Steffen K. J.** Assessing continuous resources – building the bridge between static and dynamic analyses // *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 2012, vol. 60, no. 3, pp. 1–22. DOI 10.2113/gscpgbull.60.3.112
5. **Nazarov V. I.** The concept of geological and economic evaluation, methodology of oil and gas resources. *Neftegazovaia Geologia. Teoria i Praktika*, 2017, vol. 12, no.1, p. 5. (in Russ). DOI 10.17353/2070-5379/12_2017
6. **Surovtsev D., Assovskiy M.** A probabilistic approach to assessing recoverable resources of tight hydrocarbons at early appraisal phase and its implementation

- in GeoX software // *Nedropol'zovaniye 21 Vek*, 2015, vol. 54, no. 4, pp. 86–95. (in Russ).
7. **Cozzolino J. M.** Controlling Risk in Capital Budgeting: A Practical Use of Utility Theory for Measurement and Control of Petroleum Exploration Risk // *The Engineering Economist*, 1979, vol. 25, no. 3, pp. 161–186. DOI 10.1080/00137917908902848
 8. **Suslick S. B., Schiozer D. J.** Risk analysis applied to petroleum exploration and production: an overview // *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 2004, vol. 44, no.1/2, pp. 1–9. DOI 10.1016/j.petrol.2004.02.001
 9. **Lerche I.** A Review of Economic Risking Methods Commonly Used in Hydrocarbon Exploration // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 2019, vol. 9, pp. 1579–1591. DOI 10.1007/s13202-018-0602-9
 10. **Lerche I., MacKay J.** Optimum Working Interest in Hydrocarbon Exploration Projects: The High Gain Situation Revisited for Cost, Wealth and Fear Factors [Online] // *Energy Exploration & Exploitation*, 2003, vol. 21, pp. 381–390. URL: <https://www.jstor.org/stable/43754052> (accessed on: 25.03.2023).
 11. **Kelly J. L.** A New Interpretation of Information Rate [Online] // *The Bell System Technical Journal*, 1956, vol. 35, no. 4, pp. 917–926. URL: https://www.princeton.edu/~wbialek/rome/refs/kelly_56.pdf (accessed on: 25.03.2023).
 12. **Vilenskiy P. L., Livshits V. N., Smolyak S. A.** Otsenka effektivnosti investitsionnykh proektov: teoriya i praktika. Moscow: Delo, 2002, 888 p. (in Russ).
 13. **Tugan M. F., Sinayuc C.** A new fully probabilistic methodology and a software for assessing uncertainties and managing risks in shale gas projects at any maturity stage // *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 2018, vol.168, pp. 107–118. DOI 10.1016/j.petrol.2018.05.001
 14. **Walls M. R.** Corporate Risk-Taking and Performance: A 20 Year Look at the Petroleum Industry // *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2005, vol. 48, pp. 127–140. DOI 10.1016/j.petrol.2005.06.009
 15. **Al-Harthy M. H.** Utility Efficient Frontier: An Application in the Oil and Gas Industry. *Natural Resources Research*, 2007, vol. 16, no. 4, pp. 305–312. DOI 10.1007/s11053-007-9056-3
 16. **Mutavdzic M., Maybee B.** An Extension of Portfolio Theory in Selecting Projects to Construct a Preferred Portfolio of Petroleum Assets // *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2015, vol. 133, pp. 518–528. DOI 10.1016/j.petrol.2015.06.018
 17. **Mas-Colell A., Whinston M. D., Green J. R.** *Microeconomic Theory*. Oxford University Press, 1995. 1008 p.

Информация об авторах

Ковалев Сергей Юрьевич, научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН

Блам Инна Юрьевна, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН

Information about the Authors

Sergey Yu. Kovalev, Researcher, Ph.D. in Economics, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS

Inna Yu. Blam, Senior Researcher, Candidate of Economics, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS

*Статья поступила в редакцию 07.04.2023;
одобрена после рецензирования 25.05.2023; принята к публикации 25.05.2023*

*The article was submitted 07.04.2023;
approved after reviewing 25.05.2023; accepted for publication 25.05.2023*