

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ<sup>1</sup>

### COMPARATIVE EVALUATIONS OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF DEPOSIT EXPLORATION IN THE TIMAN-PECHORA GAS AND OIL PROVINCE WITH LONG-TERM DEVELOPMENT STAGE

Садов С.Л.

Sadov S.L.

*В статье рассматриваются оценки экономической эффективности долгосрочных проектов на примере освоения и эксплуатации месторождений углеводородов, полученные традиционным путём и с использованием метода нечётких весов. В модель прогноза эффективности долгосрочных проектов на основе нечёткости добавлены отраслевые признаки-предсказатели (факторы). Шкалирование факторов при этом рассматривается как эквивалент их кусочно-постоянных функций принадлежности. На примере месторождения с длительным периодом эксплуатации проведено сравнение прогнозов экономической эффективности его освоения разными методами.*

*The economic efficiency estimations of the long-term projects on example of the hydrocarbon deposits development and exploration are considered in the article. The evaluations use both traditional approach and fuzzy weights evidence method. The industry feature-predictors (factors) are added in the model of the long-term forecast projects efficiency. The factor's scaling is considered as an equivalent of their piece-constant membership functions. On example of the deposit with long-term exploration stage the comparison of the economic efficiency forecasts, evaluated by different methods, is made.*

**Ключевые слова:** экономическая эффективность, долгосрочный прогноз, инвестиционные проекты, метод нечётких весов, проекты освоения месторождений углеводородов

**Keywords:** economic efficiency, long-term forecast, investment projects, fuzzy weights evidence method, projects of the hydrocarbon deposits exploration

#### Введение

Как отмечено в работах [1-3], вопросам оценки экономических результатов на долгосрочную перспективу посвящены усилия многих экономистов и математиков. Для соизмеримости разновременных затрат был введён принцип дисконтирования и на его основе разработаны метод чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и родственные ему, которые приобрели широкую популярность и статус официально рекомендованных методов оценки инвестиционных проектов [4].

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Уральского Отделения РАН (грант 12-У-7-1008).

Принципиально неустранимую неопределённость, возникающую при прогнозировании потока доходов и затрат в процессе реализации проектов, предлагается учитывать через укрупнённую оценку устойчивости, расчёт уровней безубыточности, вариации параметров проекта, оценку проекта с учётом количественных характеристик неопределённости. При этом оговаривается, что эти подходы действенны, когда ключевые параметры проекта имеют разброс не более 15-20%. А в случае оценок на долгосрочную перспективу, например экономической эффективности проектов освоения нефтегазовых ресурсов, такой ключевой параметр, как их объём, может отличаться от истинного в несколько раз. С позиций вышеупомянутых подходов задача оценки такого рода проектов нерешаема. Приходится констатировать, что методические разработки по прогнозу экономической эффективности инвестирования долгосрочных проектов, которые бы адекватно учитывали имманентно высокую неопределённость условий их реализации, отсутствуют.

Везде, где из-за сложности моделируемых процессов и объектов нецелесообразно применять методы, требующие высокой точности исходных данных, нашла широкое применение теория нечётких множеств, развиваемая с 60-х годов XX века. Это в особенности касается природных, биологических и социальных систем, где число параметров и факторов, определяющих их развитие, столь велико, а сложность взаимодействия столь многопланова, что ни о какой точности моделирования речи идти не может. В этой сфере естественно применение методов теории нечётких множеств, что и происходило в последние десятилетия [5]. Для получения оценок экономической эффективности особенно привлекателен метод нечётких весов, агрегирующий разнообразную информацию в единый показатель в условиях низкой достоверности исходных данных [6]. То обстоятельство, что использование общепринятых методов в такой ситуации способно дать лишь приблизительное представление об экономической эффективности проекта, также приводит к мысли о преимуществе подходов, не требующих трудоёмкого детального прогнозирования потоков доходов и затрат, но дающих в итоге аналогичную обобщённую оценку – например, позволяющих оценивать эффективность по вербальной нечёткой шкале «нерентабельный» – «с проблемной рентабельностью» – «низкорентабельный» – «рентабельный». Поставленная задача может быть решена на основе одномерной модификации метода нечётких весов.

Цель данной работы – на основе предложенного ранее подхода и метода принятия инвестиционных решений в условиях высокой неопределённости [3] разработать инструментарий по выбору управленческих решений, касающихся освоения и эксплуатации месторождений углеводородов, основанный на качественной оценке экономической эффективности проектов, и проверить его на месторождении, имеющем достаточно длительный жизненный срок.

### **Математические аспекты моделирования экономической эффективности в условиях высокой неопределённости**

Математическая модель предлагаемого метода рассматривает процесс реализации инвестиционного проекта как результат взаимодействия нескольких факторов, влияющих на конечный результат. То есть инвестиционный проект рассматривается как сложное событие, состоящее из простых взаимно независимых по своей природе событий (терминологически определяемых как признаки-предсказатели), а его рентабельность – как нечёткая величина, обладающая своей функцией принадлежности.

Для проведения вычислительных операций признаки-предсказатели необходимо привести к единой шкале. Это может быть двоичная модель в простейшем случае или, при использовании правил теории нечётких множеств, троичная и более, когда непрерывные данные измерений или дискретная информация подразделяются на соответствующее количество базовых классов.

Процедура создания бинарной модели из  $X$ , где  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , в рамках гипотезы  $S$  об эффективности оцениваемого проекта может быть представлена как бинарная модель, включающая два подмножества:  $A$  и  $\bar{A}$  с условиями  $A \cup \bar{A} = X$  и  $A \cap \bar{A} = \emptyset$ . Численно это может быть выражено как 1 для элемента из  $A$  и 0 для элемента из  $\bar{A}$ . В случае когда рассматривается тернарная модель, вводится нечёткое множество  $A \subset X$ . Степень, с которой каждый элемент из  $X$  принадлежит  $A$ , описывается функцией принадлежности  $\mu_A(x)$  со следующими свойствами:

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1,$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in A \\ 0.5, & \text{если } x \in A \text{ или } x \in \bar{A} \\ 0, & \text{если } x \in \bar{A}, \end{cases}$$

где  $A = \{x | \mu_A(x) = 1\}$  и  $\bar{A} = \{x | \mu_A(x) = 0\}$ , обладающие свойствами  $A \cup \bar{A} \subset X$  и  $A \cap \bar{A} = \emptyset$ . При  $\mu_A(x) = 0.5$  возникает ситуация, когда определить принадлежность объекта к состоянию  $A$  или  $\bar{A}$  затруднительно, позволяя квалифицировать испытание как несостоявшееся. Введение дополнительных градаций принадлежности позволяет более точно и адекватно описать ситуацию с информационным обеспечением задачи оценки проекта.

Имеющий мировую известность специалист в области геологических рисков и геолого-экономических оценок нефтяных ресурсов П.Р. Роуз [7], ссылаясь на практику, настоятельно советует при оценках того или иного параметра «не бояться использования быстрых и приближенных» методов (так называемые правила большого пальца). Фактически это означает признание правомерности использования при оценке вероятности интуитивистского подхода, который, как известно, рассматривает вероятность как нечто такое, что можно априорно оценить с помощью мысленных экспериментов и прошлого опыта. Этот подход при всей привлекательности имеет существенный недостаток: при его использовании неизбежно проявление индивидуальных черт характера оценивающего, его склонности к оптимизму или, наоборот, – к пессимизму. Предлагаемый способ оценки вероятности экономического успеха, основанный на численных методах теории нечётких множеств, позволяет этих крайностей избежать.

Независимость признаков-предсказателей является необходимым условием использования принципа Байеса при вычислении поправок априорной вероятности. Поэтому операциям по их вычислению предшествует процедура проверки на независимость путём вычисления коэффициентов регрессии, представляющими разность между условными вероятностями одного события ( $A$ ) в случае наступления и в случае ненаступления другого ( $B$ ) [8]:

$$\rho_A = P(A|B) - P(A|\bar{B}), \rho_B = P(B|A) - P(B|\bar{A}).$$

События  $A$  и  $B$  происходят совместно при  $P(B|A)=1$  и  $P(B|\bar{A})=0$ . Коэффициент регрессии превращается в нуль только тогда, когда события  $A$  и  $B$  независимы. При вычислении корректирующих поправок с использованием принципа Байеса используется выражение

$$O(S) = \frac{P(S)}{1 - P(S)},$$

где  $O$  означает шансы,  $S$  – событие.

Для работы по методу нечётких весов необходимо задать функции принадлежности каждого из факторов (признаков-предсказателей), принципиально определившись с видом функции. Поскольку большинство факторов, влияющих на эффективность проектов освоения и эксплуатации запасов углеводородов, носят качественный характер, все факторы следует представить как качественные величины. Из известных типовых функций [9] для описания поведения таких факторов более всего подходит функция кусочно-постоянного вида, представляемая в виде шкалы (графически или в табличной форме).

#### **Описание метода оценки эффективности освоения нефтегазовых ресурсов на основе одномерной модификации метода нечётких весов**

Оценка рентабельности проекта начинается с выбора априорной оценки. Как отмечено в [3], существуют следующие возможности:

1) либо в качестве таковой выступает среднеотраслевая оценка, и тогда в набор факторов необходимо включить характеризующие положение рассматриваемого проекта относительно прочих проектов в отрасли; это означает, что в модель оценки должны вводиться новые факторы, описывающие геолого-промысловые (размер месторождения и глубина его залегания) и географические параметры месторождения (положение относительно имеющейся инфраструктуры);

2) либо принимается оценка рентабельности аналогичных, близких по своим геолого-промысловым и географическим характеристикам проектов.

Какой из этих путей более подходит, исследователь определяет, опираясь на имеющуюся в его распоряжении информацию, свой опыт и интуицию.

Для каждого фактора также необходимо определить границы интервалов значений функции принадлежности, соответствующие градациям лингвистической шкалы. Границы устанавливаются исходя из вероятностей соответствующих градаций фактора.

При вычислениях используются обозначения:

$R$  – результирующий показатель рентабельности проекта,

$R_{анп}$  – априорная оценка рентабельности,

$F_j$  – фактор (признак-предсказатель), влияющий на рентабельность,  $j = \overline{1, n}$ .

Тогда

$$\ln O(R) = \ln O(R_{анп}) + \sum_{j=1}^n (W_j^+ + W_j^-),$$

где  $W_j^+ = \ln \frac{P(R|F_j)}{P(\overline{R}|F_j)}$ ,  $W_j^- = \ln \frac{P(\overline{R}|F_j)}{P(R|F_j)}$ ,  $j = \overline{1, n}$ .

Здесь  $P(R|F_j)$  – условная вероятность события  $R$  при наступлении события  $F_j$  (вычисляется как отношение мер событий, в данном случае длин соответствующих интервалов):

$$P(R|F_j) = \frac{P(R \cap F_j)}{P(F_j)},$$

и аналогично другие условные вероятности

$$P(R|\overline{F_j}) = \frac{P(R \cap \overline{F_j})}{P(\overline{F_j})}, P(\overline{R}|F_j) = \frac{P(\overline{R} \cap F_j)}{P(F_j)}, P(\overline{R}|\overline{F_j}) = \frac{P(\overline{R} \cap \overline{F_j})}{P(\overline{F_j})}.$$

В случае когда какое-либо из пересечений есть пустое множество  $\emptyset$ , соответствующая поправка  $W$  принимается равной нулю.

Набор факторов (признаков-предсказателей), приведённый в табл. 1, соответствует случаю, когда в качестве априорной оценки рентабельности проекта освоения и эксплуатации месторождения принимается среднеотраслевой. Естественно, что градации каждого фактора соответствуют градациям результирующего показателя от худшего (единица) к лучшему (четыре).

Таблица 1

Шкала значений признаков-предсказателей

Результирующий показатель и факторы	Градации шкалы			
	1	2	3	4
Рентабельность проекта	нерентабельный	с проблемной рентабельностью	низко-рентабельный	рентабельный
Стабильность спроса,	стабильно низкий спрос	низкий с редкими всплесками	меняющийся от низкого до	стабильно высокий

востребованность			высокого	
Степень конкурентности	низкая	средняя	высокая	очень высокая
Перспективы сектора	постепенное вытеснение новыми	постоянный удельный вес в экономике	умеренный рост	быстрый рост
Региональное влияние на рентабельность	отсутствует или отрицательное	ограниченно положительное влияние	большое положительное влияние	решающее положительное влияние
Размер месторождения	мелкое	среднее	крупное	очень крупное
Глубина залегания месторождения	очень большая	большая	средняя	малая
Географическое положение месторождения	район пионерного освоения	удалённое от освоенных районов	близкое к освоенным районам	в освоенном районе

Должны ли интервалы для различных функций быть одинаковы? Как правило, нет. Каждый из признаков-предсказателей имеет свои особенности, которые и отражаются в функции принадлежности. Для используемых факторов, сообразно поведению этих признаков-предсказателей, экспертно отобраны интервалы, представляющиеся наиболее адекватными (табл. 2).

Таблица 2

Границы интервалов значений функции принадлежности признаков-предсказателей (факторов)

Результирующий показатель и факторы	Интервалы значений функции принадлежности, соответствующие градациям шкалы			
	1	2	3	4
Эффективность проекта	0 – 0.3	0.3 – 0.5	0.5 – 0.7	0.7 – 1
Стабильность спроса, востребованность	0 – 0.2	0.2 – 0.4	0.4 – 0.8	0.8 – 1

Степень конкурентности	0 – 0.25	0.25 – 0.5	0.5 – 0.75	0.75 – 1
Перспективы сектора	0 – 0.4	0.4 – 0.65	0.65 – 0.85	0.85 – 1
Региональное влияние на эффективность	0 – 0.15	0.15 – 0.55	0.55 – 0.8	0.8 – 1
Размер месторождения	0 – 0.2	0.2 – 0.4	0.4 – 0.75	0.75 – 1
Глубина залегания месторождения	0 – 0.25	0.25 – 0.6	0.6 – 0.85	0.85 – 1
Географическое положение месторождения	0 – 0.3	0.3 – 0.6	0.6 – 0.8	0.8 – 1

#### Пример сравнения расчётов эффективности по методу ЧДД и по одномерной модификации метода нечётких весов

Рассмотрим месторождение южной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, период эксплуатации которого составляет более 30 лет. Размер его соответствует градации 2 (среднее), глубина залегания – 3 (средняя), географическое положение – 4 (в освоенном районе). Оценим экономическую эффективность проекта его освоения и эксплуатации месторождения, применяя три подхода:

- по фактическим доходам и затратам с использованием показателя чистого дисконтированного дохода;
- ретропрогноз ЧДД с позиций моделирования и прогнозирования, принятых во время начала освоения месторождения;
- по вышеописанному методу, основанному на одномерной модификации метода нечётких весов, взяв в качестве априорной оценки эффективности  $=0.6$  как среднеотраслевую с небольшой рентабельностью.

Первый подход дал оценку ЧДД  $\approx 958$  млн долл., второй – примерно 340 млн долл., третий – постериорную оценку рентабельности  $\approx 0.79$ . Все оценки характеризуют проект как рентабельный, что соответствует фактическому положению дел. Для соизмеримости результатов первых двух подходов во втором случае пришлось отказаться от принятого в 70-80-е годы XX века значения коэффициента дисконтирования 1.08, и в обоих случаях взять его равным 1.035.

### Заключение

Областью применения подхода к прогнозу рентабельности долгосрочных проектов в сфере нефтедобычи, основанного на математическом аппарате метода нечётких весов, видится предварительная оценка экономической эффективности проектов освоения и эксплуатации выявленных месторождений нефти, по которым доступна малая часть необходимой геологической информации, и прогноз потоков затрат представляется недостаточно достоверным. В этом случае такие оценки рентабельности, имеющие вероятностный характер, могут составить достойную альтернативу общепринятому подходу определения ЧДД. Кроме того, предложенный подход поможет более чётко выстраивать стратегию корпоративного развития нефтяной компании в условиях высокой неопределённости геологических ситуаций, решать вопросы оптимизации выбора направлений её деятельности, соразмеряя затраты по получению более детальной информации по тем или иным районам с возможным будущим экономическим эффектом их освоения и эксплуатации потенциальных месторождений углеводородов

### Список литературы:

1. Садов С.Л. Использование принципа нечёткости при оценке долгосрочных инвестиционных проектов // Тезисы докл. VII Всеросс. науч. конф. «Математическое моделирование развивающейся экономики, экологии и биотехнологий» ЭКОМОД-2012 (г. Киров, 2- 8 июля 2012 г.). с. 70.
2. Садов С.Л. Долгосрочный прогноз экономических результатов: инструментальный потенциал теории нечётких множеств // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2012. № 6. с. 192-196.
3. Садов С.Л. Метод нечётких весов как инструмент оценки экономической эффективности на долгосрочную перспективу // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. [Электронный ресурс] URL: <http://vestnik-ku.ru/articles/2013/4/1.pdf> (дата обращения 5 ноября 2014).
4. Коссов В.В., Лифшиц В.Н., Шахназаров А.Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). Официальное издание. □ М.: ОАО «НПО «Изд-во «Экономика», 2000. □ 421 с.
5. Schuenemeyer J.H., Drew L.J. A procedure to estimate the parent population of the size of oil and gas fields as revealed by a study of economic truncation // *Mathematical Geology*, vol. 15, № 1, 1983. – P. 145-162.
6. Cheng Q., Agterberg F.P. Fuzzy weights of evidence method and its application in mineral potential mapping // *Natural resources research*, vol. 8, № 1, 1999. – P. 27-35.
7. Роуз П. Анализ рисков и управление нефтегазовыми проектами. М. Ижевск: НИЦ «РХД», Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. 304 с.
8. Математическая статистика / под ред. проф. А.М. Дина. М.: Высшая школа. 1975. 397 с.
9. Нечёткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.



## References:

1. Sadv S.L. [Usage of the fuzziness principle for long-term investment projects evaluation]. Tezisy dokladov 7 Vserossijskoi nauchnoi konferentsii «Matematicheskoe modelirovanie razvivajushhejsja jekonomiki, jekologii i biotehnologij» JeKOMOD-2012 [Thesis 7th all-Russian sci. conf. «Mathematical modeling of a developing economy, ecology and biotechnology» ECOMOD-2012]. Kirov, 2012, p. 70. (In Russian)
2. Sadv S.L. Dolgosrochnyj prognoz jekonomicheskikh rezul'tatov: instrumental'nyj potencial teorii nechjotkih mnozhestv [Long-term forecast of the economic results: instrumental potential of the fuzzy sets theory]. Jekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz – Economic and social changes: facts, trends, forecast, 2012, no. 6, pp. 192-196.
3. Sadv S.L. [Fuzzy Weights Evidence Method as Tool of the Economy Efficiency Evaluation on Long-term Outlook]. Korporativnoe upravlenie i innovacionnoe razvitie jekonomiki Severa: Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo centra korporativnogo prava, upravlenija i venchurnogo investirovanija Syktyvkarskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013, no. 4. (In Russ.) Available at: <http://vestnik-ku.ru/articles/2013/4/> (accessed 05.11.2014)
4. Kossov V.V., Livshits V.N., Shakhnazarov A.G. Metodicheskie rekomendacii po ocenke jeffektivnosti investicionnyh proektov (vtoraja redakcija) [Guidelines on the assessment of the effectiveness of investment projects (2nd edition)]. Moscow, Jekonomika Publ., 2000. □ 421 p.
5. Schuenemeyer J.H., Drew L.J. A procedure to estimate the parent population of the size of oil and gas fields as revealed by a study of economic truncation. *Mathematical Geology*, 1983, vol. 15, no. 1, pp. 145-162.
6. Cheng Q., Agterberg F.P. Fuzzy weights of evidence method and its application in mineral potential mapping. *Natural resources research*, 1999, vol. 8, no. 1, pp. 27-35.
7. Rose Peter R. Risk analysis and management of petroleum exploration ventures. Tulsa, the American association of petroleum geologists, 2001. 164 p. (Russ. ed.: Rouz P. Analiz riskov i upravlenie neftegazovymi proektami. Moscow, Izhevsk, Izhevskij institut komp'juternyh issledovanij Publ., 2011. 304 p.).
8. Dlin A.M., ed. Matematicheskaja statistika [Mathematical statistics]. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1975. 397 p.
9. Pospelov D.A., ed. Nechjotkie mnozhestva v modeljah upravlenija i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 312 p.