

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПРОЕКТОВ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ НЕФТЕОТДАЧИ

Рамазанов Д.Н.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Для учета экономических и геологических неопределенностей на эффективность осуществления проектов по методам увеличения нефтеотдачи (МУН) предлагается использовать метод Латинского гиперкуба и вероятностные плотности распределения входных экономических и геологических факторов. Результаты имитационного моделирования показывают, что совокупная неопределенность проекта по МУН не является суммой экономической и геологической неопределенности и при планировании МУН рекомендуется использовать медиану сгенерированных значений ЧДД.

Проведение проектов по увеличению нефтеотдачи объектов разработки для нефтегазодобывающего предприятия (НГДП) является рискованной деятельностью. Первичными источниками неопределенности методов увеличения нефтеотдачи являются геологические (эффективная толщина продуктивного пласта, текущее пластовое давление, нефтенасыщенность и т.д.), а так же технологические факторы. Другими источниками неопределенности для НГДП являются финансово-экономические. Следует отметить, что хотя затраты на МУН согласно действующему Налоговому законодательству РФ относят на себестоимость произведенной продукции, по экономическому содержанию – это затраты, направленные на восстановление работоспособности объектов разработки – являются инвестиционными затратами. Следовательно, затраты на МУН на объекте разработке следует рассматривать как инвестиционный проект и делать оценку экономической эффективности этих затрат по формуле чистого дисконтированного дохода (NPV_{ij}):

$$NPV_{ij} = \begin{cases} -K_{ij} + \sum_{t=1}^T \frac{[P - (VC_{jt} + SORT_t + TP)] \cdot \Delta Q_{ij} \cdot k_t}{(1 + RD)^t}, & WC_1 \geq WC_0 \\ -K_{ij} + \sum_{t=1}^T \frac{[P - (VC_{jt} + SORT_t + TP)] \cdot \Delta Q_{ij} \cdot k_t + \Delta Q_{wij}^t \cdot C_{wt} \cdot k_t}{(1 + RD)^t}, & WC_1 < WC_0 \end{cases} \quad (1)$$

где K_{ij} – единовременные затраты на проведение мероприятия по МУН, тыс.руб.;

P – трансфертная цена реализации нефти, руб./т;

VC_{jt} – условно-переменные затраты на добычу нефти на j -ом объекте разработки в месяц t , руб./т;

$SORT_t$ – налог на добычу полезных ископаемых в месяц t , руб./т;

TP – налог на прибыль, доли ед.;

C_{wt} – условно-переменные затраты, приходящиеся на добычу 1 м³ жидкости (воды) в месяц t , руб./тыс. м³;

ΔQ_b , ΔQ_{wt} – дополнительная добыча нефти (тыс.т) и ограничение попутно добываемой воды (тыс. м³) за счет i -го вида МУН на j -ом объекте разработке в месяц t ;

k_t – коэффициент, учитывающий неравномерность прироста добычи нефти и ограничения водопритока, доли ед.;

RD – месячная ставка дисконтирования, доли ед.;

T – нормативная продолжительность технологического эффекта МУН, мес.;

i – номер МУН; j – номер объекта разработки; t – номер месяца, $t = \overline{1, T}$.

WC_0 , WC_1 – обводненность нефти до и после проведения МУН, %.

Из формулы (1) следует, что к экономическим факторам, влияющие на эффективность реализации проекта по МУН относятся затраты на МУН, трансфертная цена реализации на нефть для НГДП, условно-переменные затраты на добычу нефти и жидкости, налог на добычу полезных ископаемых. Следовательно, изменения этих параметров в ходе реализации проекта по МУН могут существенно повлиять на его эффективность. Если учитывать, что налог на добычу полезных ископаемых рассчитывается по формуле (2), то на эффективность проекта по МУН влияют также P_U и RE , а именно:

$$SORT_t = 419 \cdot (P_{Ut} - 9) \cdot \frac{RE_t}{261}, \quad (2)$$

где P_{Ut} – среднемесячное значение цены на нефть марки Urals, долл./барр.

RE_t – среднемесячный обменный курс доллара к рублю, руб./долл.

Параметрами геологической неопределенности, как видно, являются дополнительная добыча нефти и ограничение попутно добываемой воды (если обводненность добываемой продукции снижается) за счет МУН.

Для учета неопределенностей экономических и геологических параметров предлагается использовать вид имитационного моделирования, а именно метод латинского гиперкуба, с помощью которого производят статистическую обработку достоверных данных и получают такие же результаты после меньшего количества повторений, а следовательно быстрее. Это техника выборки данных по слоям. Она эффективно использует генерирование случайных чисел программы Монте-Карло для выбора данных по конкретным слоям из суммарных кривых распределения частот. Это значительно расширяет спектр случайных значений переменных при относительно небольших усилиях. Однако для использования этого метода необходимо установить плотности распределения входных параметров формулы (1) и (2).

В качестве возможных законов распределения входных параметров модели предлагается использовать 17 непрерывных законов распределения: β -распределение, χ^2 -распределение, распределение Эрланга, экспоненциальное распределение, распределение экстремальных значений, гамма-распределение, равномерное, логистическое распределение, лог-логистическое распределение, логнормальное распределение, нормальное, распределение Парето, распределение Пирсона, распределение Рэля, распределение Стьюдента, треугольное, распределения Вейбулла. А так же 4 вида дискретных распределений: биномиальное, геометрическое, биномиальное, Пуассона и Бернулли. Критериями выбора плотности распределения используются критерии χ^2 -статистики, статистика Колмогорова и Ω^2 Мизеса (статистика Андерсона-Дарлинга).

По эмпирическим данным среднемесячных значений цен на нефть марки «Urals» и среднемесячной котировки доллара к рублю за 01.2002 – 10.2006 гг. было установлено, что первый показатель имеет распределение Вейбулла, а последний – распределение Пирсона (таблица 1). Плотность распределения по затратам на МУН установлена по эмпирическим данным по затратам на данный вид МУН на данном объекте разработке за 2000-2005 гг.

Как видно из таблицы 1, плотностью распределения затрат на МУН является гамма-распределение, ограниченное минимальным и максимальным значениями затрат. По условно-переменным затратам на добычу нефти и по трансфертным ценам на нефть плотности распределения являются нормальными, однако усеченными экономически обоснованными минимальными и максимальными пределами. Плотность распределения прироста добычи нефти на одном из Западно-Сибирских нефтяных месторождений (только положительный технологический эффект) по 30 скважино-операциям по ОПЗ «Гелий» за 2000-2005 гг. является логарифмическим нормальным, ограниченное слева экономически предельным приростом добычи нефти, определенный при детерминированных исходных экономических данных, а справа – максимальным приростом добычи нефти за рассматриваемый период. Следует отметить, что перед установлением плотности распределения прироста добычи нефти за счет МУН предлагается проводить операцию идентификации (группирования), т.е. выделения относительно однородных групп объектов разработки. При решении этой задачи использовался метод главных компонент. Главные компоненты – это новые переменные, являющиеся линейными комбинациями исходных измеряемых параметров, к которым относятся пористость, проницаемость, нефтенасыщенность, дебит нефти до проведения МУН объектов разработки и т.д. После группирования объектов внутри каждой группы предлагается проводить цензурирование, т.е. процедуру обнаружения выбросов. Следующим этапом оценки экономической и геологической неопределенностей является проведение 500 итераций модели эффективности проекта по МУН.

Следует отметить, чтобы обеспечить достоверность и адекватность полученных в ходе имитационного моделирования результатов, необходимо соблюдать условие, когда между входными параметрами модели отсутствовала линейная корреляция. На рисунке 1 можно увидеть матрица графиков линейной регрессии входных параметров модели друг от друга, а так же гистограммы каждого параметра. Показатель линейной корреляции Пирсона между входными параметрами модели составляет от -0,05 до 0,07, что свидетельствует об отсутствии линейной зависимости между ними.

Таблица 1

Законы и плотности распределений входных параметров модели эффективности проекта по МУН

Переменные	Закон распределения	Плотность распределения
1. Затраты на проведение МУН	Усеченное гамма-распределение	$f(x) = \frac{1}{46,1 \cdot \Gamma(25,97)} \cdot \left(\frac{x}{46,1}\right)^{24,97} \cdot e^{-x/46,1}$ $\min\ K_{ij}\ < x \leq \max\ K_{ij}\ \quad (3)$
2. Среднемесячная цена нефти марки Urals	Усеченное распределение Вейбулла	$f(\xi) = 0,017576 \cdot \xi^{0,42} \cdot e^{-\xi/22,04}$ $15 < \xi \leq 70 \quad (4)$
3. Среднемесячная котировка доллара к рублю	Усеченное распределение Пирсона	$f(\omega) = \frac{1}{175,02 \cdot \Gamma(26,42)} \cdot e^{-175,02/\omega} \cdot \left(\omega/175,02\right)^{27,42}$ $26 < \omega \leq 35 \quad (5)$
3. Условно-переменные затраты	Усеченное нормальное распределение	$f(\psi) = \frac{1}{200 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\psi-904}{200}\right)^2}$ $700 < \psi \leq 1500 \quad (6)$
4. Трансфертная цена реализации нефти	Усеченное нормальное распределение	$f(\theta) = \frac{1}{400 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\theta-5000}{400}\right)^2}$ $3500 < \theta \leq 7500 \quad (7)$
5. Дополнительная добыча нефти за счет МУН	Усеченное лог-нормальное	$f(y) = \frac{1}{y \cdot \sqrt{2\pi \cdot 1,92}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln y - 9,28}{9,27}\right)^2}$ $\Delta Q_{ij}^{BEP} < \theta \leq \max\ \Delta Q_{ij}\ \quad (8)$

$\Gamma(\dots)$ – значение гамма-функции.

ΔQ_{ij}^{BEP} – предельно рентабельный прирост добычи нефти за счет МУН.

Отметим, что для определения порогового уровня прироста добычи нефти (ΔQ_{ij}^{BEP}), необходимо при детерминированных значениях входных экономических параметров найти по формуле:

$$\Delta Q_{ij}^{BEP} = \sum_{t=1}^T \frac{(1 + RD)^t \cdot K_{ij}}{(P - (VC_{j0} + SORT_0 + TP))} \quad (9)$$

где $SORT_0$, VC_{j0} – соответственно налог на добычу полезных ископаемых и условно-переменные затраты на добычу нефти на j-ом объекте разработки в момент времени 0, руб./т.

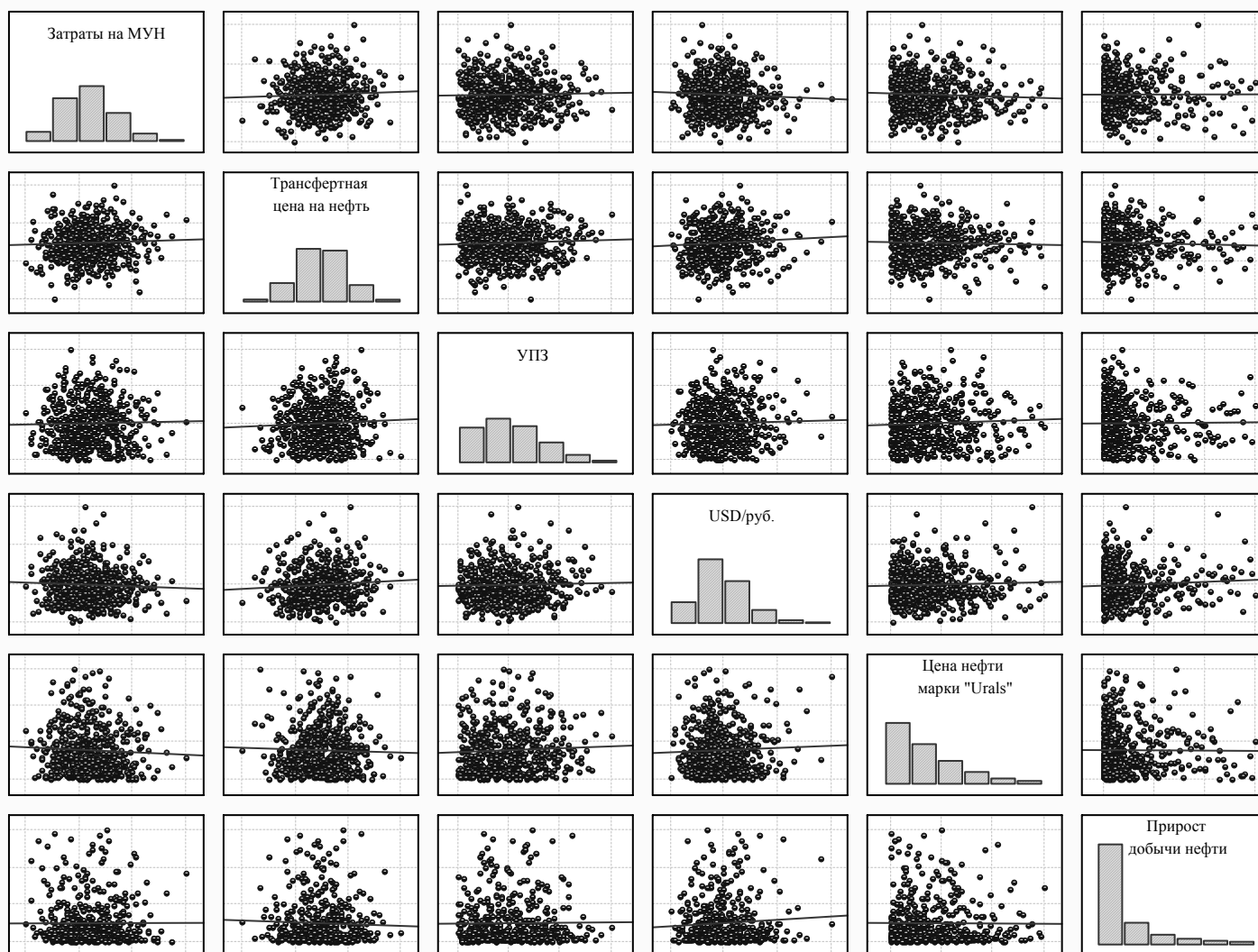


Рисунок 1. Гистограммы и графики линейной парной регрессии входных параметров модели друг от друга

Результаты имитационного моделирования проекта по МУН с учетом только экономической неопределенности, только геологической неопределенности и экономической и геологической неопределенностей приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты имитационного моделирования проекта
по методу увеличения нефтеотдачи

Показатели	При экономической неопределенности	При геологической неопределенности	При геологической и экономической неопределенностях
1. Минимальное значение NPV , тыс.руб.	-950,77	-224,87	-1 473,49
2. Максимальное значение NPV , тыс.руб.	2 826,52	15 472,96	20 634,51
3. Среднее значение NPV , тыс.руб.	1 322,28	2 310,25	1 835,05
4. Среднеквадратическое отклонение NPV , тыс.руб.	621,42	3 217,42	2 882,32
5. Медиана NPV , тыс.руб.	1 374,85	990,43	729,60
6. Мода NPV , тыс.руб.	1 555,50	-207,79	-90,77
7. Вариация NPV , %	47,00	139,27	157,07
8. Ассиметричность NPV , доли ед.	-0,43	1,96	2,42
9. Эксцесс NPV , доли ед.	3,17	6,58	10,59
10. $P(NPV < 0)$, %	2,82	15,84	23,49
11. $P(0 < NPV \leq 1000)$, %	26,42	34,44	33,43
12. $P(1000 < NPV \leq 2000)$, %	57,22	15,28	13,82
13. $P(2000 < NPV \leq 3000)$, %	10,00	8,81	8,29
14. $P(3000 < NPV \leq 4000)$, %	3,54	5,69	5,67
15. $P(NPV > 4000)$, %	0,00	19,94	15,30
16. Среднее значение прироста добычи нефти за счет МУН, т	1742,44	1481,48	1481,48
17. Медиана прироста добычи нефти за счет МУН, т	-	767,58	787,39
18. $P(250 < \Delta Q \leq 1000)$, %	-	56,17	56,15
19. $P(1000 < \Delta Q \leq 2000)$, %	-	20,8	20,91
20. $P(\Delta Q > 2000)$, %	-	22,94	22,94

Как видно из таблицы 2, учет одновременно экономических и геологических неопределенностей значительно повышает риск проекта (коэффициент вариации составляет более 157%). Кроме этого, вероятность получения отрицательного NPV составляет 23,49%, тогда как при экономической неопределенности исходных данных только 2,82%, а при геологической неопределенности – 15,84%. Отметим так же, что вероятность получение $NPV > 4000$ тыс.руб. при экономической неопределенности – 0,00%, при геологической – 19,94% , а при учете обоих видов неопределенностей – 15,30%. На рисунке 2 представлена гистограмма сгенерированных значений NPV проекта по МУН при учете экономической и геологической неопределенностей.

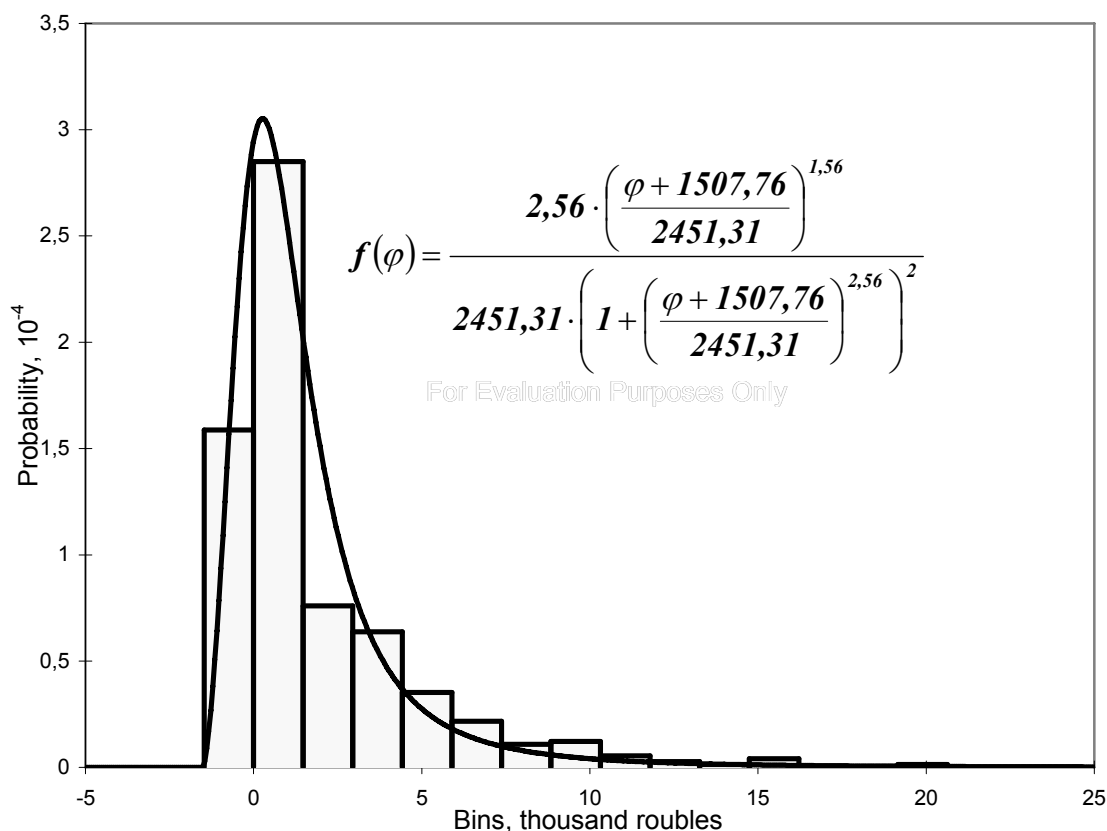


Рисунок 2. Гистограмма сгенерированных значений NPV проекта по МУН

Как видно из рисунка 2, *NPV* проекта по МУН имеет лог-логистическое плотность распределения и, следовательно, ошибочным будет использовать в качестве наиболее вероятного значения *NPV* проекта его среднее. Наиболее точным прогнозным значением *NPV* будет медиана установленного распределения, которая составляет 943,55 тыс.руб. А наиболее вероятным значением прироста добычи нефти за счет МУН будет не среднее 1481,48 т, а 787,39 т. Отметим, что значение *NPV* при детерминированных исходных данных и при среднем приросте добычи нефти за счет МУН 1742,44 т составляет 5 617,58 тыс.руб., что почти на 500% превышает наиболее вероятный.

На рисунке 3 представлены интегральные функции распределений *NPV* проекта по МУН при учете отдельных видов неопределенностей. Динамика изменения этих кривых характеризует динамику изменения вероятности того или иного исхода проекта по МУН.

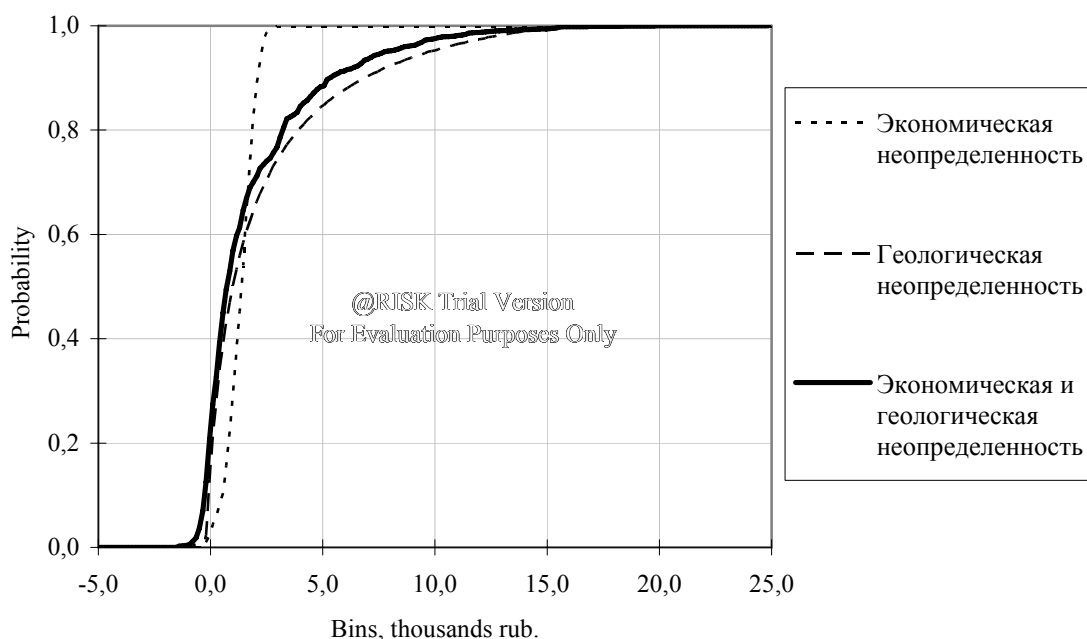


Рисунок 3. Интегральные функции распределений *NPV* проекта по МУН

Из этого рисунка можно сделать заключение, что суммарная неопределенность экономических и геологических факторов не является суммой отдельных видов рисков.

Важным моментом использования данного подхода при оценке неопределенностей проектов по МУН является возможность проведения анализа чувствительности проекта на входные параметры модели. На рисунке 4 представлен график типа «торнадо», по которому видно, что наибольшее влияние на эффективность реализации проекта по МУН оказывают по степени убывания: прирост добычи нефти, цена нефти марки «Urals», трансфертная цена нефти, условно-переменные затраты на добычу нефти, затраты на МУН, курс доллара к рублю.

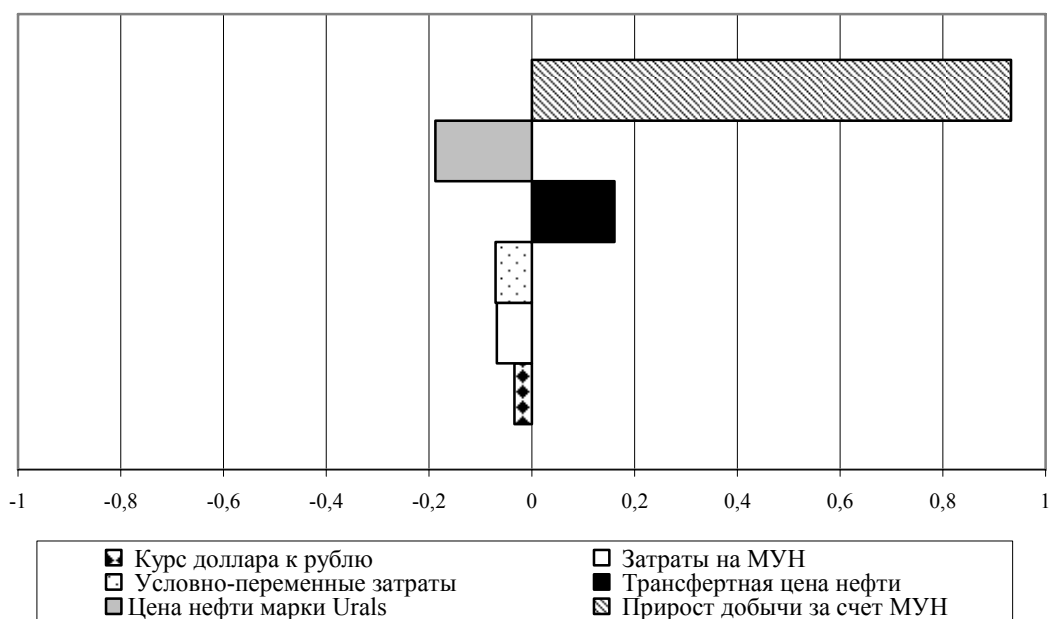


Рисунок 4. Анализ чувствительности проекта по МУН

Таким образом, предлагаемая модель может стать эффективным инструментом принятия решения о целесообразности проведения и выбора проекта по МУН на том или ином объекте разработки.

Литература

1. Cozzolino, John M. A Simplified Utility Framework for the Analysis of Finance Risk. Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium (HEES), Dallas, TX, USA. SPE 6359, 1997. – pp. 234-287.
2. Dixit A. K., Pindyck Robert S. Investment under uncertainty, New Jersey: New Jersey University Press.- 1994. – 476 pp.
3. Johnston D. Value of Reserves-undeveloped// Petroleum Accounting and Management Journal. – 2002. – № 21 (3). – pp. 120-132.
4. Lerche I., MacKay James A. Economic risk in hydrocarbon exploration. – NY.: Academic Press. – 1999. – 404 pages
5. Mackay James A. Utilizing risk tolerance to optimize working interest, Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, Dallas, TX, USA. SPE 30043, 1995. – pp.145-173
6. Megill Robert E. An Introduction to Risk Analysis. Second Edition. – Tulsa.: PennWell Publishing Company, 1984. – 765 p.
7. Walpole Ronald E., Myers Raymond H. Probability and Statistics for Engineers and Scientists, 5th ed. – NY.: Macmillan Publishing Company, 1993. – 654p.