



МГРИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Международные научно-практические конференции:

«Инновационные решения в геологии и разработке ТРИЗ»

и

«Цифровая трансформация нефтегазовой отрасли»

Методические аспекты обоснованности выбора оптимального варианта
проекта разработки месторождений нефти

27-29 декабря 2024 г.

Москва



Шахвердиев А.Х. - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой « Разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений» Российского Государственного Геологоразведочного Университета имени С. Орджоникидзе (МГРИ), академик РАЕН, вице-президент РАЕН, заслуженный изобретатель РФ, Почётный нефтяник РФ.

Автор более 380 опубликованных научных работ, в том числе, более 100 изобретений, охраняемых патентами РФ и зарубежных стран, которые частично внедрены в нефтегазовой отрасли РФ, КНР, США, Азербайджанской Республики.





«Отличительной чертой нашего времени, определяющей границу нового времени, является овладение стратегией поведения в условиях риска, базирующейся на понимании того, что будущее – это не просто прихоть богов и что люди не бессильны перед природой. ... Сущность управления риском состоит в максимизации набора обстоятельств, которые мы можем контролировать, и минимизации набора обстоятельств, контролировать которые нам не удаётся и в рамках которых связь причины и следствия от нас скрыта».

«Против богов. Укрощение риска» - Питер Бернстайн



Двигаясь от простого к сложному удаётся включить в этот сложный процесс прогрессивный математический аппарат – нечёткую логику, фрактальную геометрию, теорию хаоса, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, игровые методы принятия решений и многие другие методы в условиях неопределённости и риска составляющие основу новой парадигмы.

Процесс выбора стратегии разработки нефтегазовых месторождений отличается зависимостью показателей и критериев оценки эффективности проектных решений от геолого-геофизической информации, структуры запасов, изменчивости природных условий, вероятностным характером большинства технико-экономических показателей разработки и формирования структуры капиталовложений. На основе этих особенностей формируются системы рисков, к основным из которых относятся ошибки: при определении геологических и извлекаемых запасов углеводородов, коэффициента нефтеизвлечения, динамики добычи нефти, прогнозе изменения рынков сбыта и валюты, цен на углеводородные продукты, - а также целого ряда технологических решений и форс-мажорных обстоятельств.



Последствия таких рисков в общем случае можно оценить потерями, которые могут иметь место при несоответствии проектных и технологических решений разработки месторождения ожидаемым экономическим результатам:

чистому дисконтированному потоку наличности, внутренней норме доходности, индексу дисконтированной доходности затрат и инвестиций, сроку окупаемости инвестиций и другим экономическим критериям. Многовариантность и многофакторность решаемой задачи определяют сложность выбора системы разработки нефтяной залежи. При расчётах вариантов проекта разработки на основе многомерных детерминированных геолого-гидродинамических моделей используются крайне ограниченные, часто косвенные и весьма приближенные сведения о залежах. Как следствие, низкая надёжность получаемых данных ведёт к регулярному уточнению проектных показателей разработки, пересчёту балансовых и извлекаемых запасов, текущего и конечного коэффициента нефтеизвлечения.



Принятие решения осуществляется на основе геологической и фильтрационной моделей проекта разработки и оценке возможных вариантов проекта по следующим основным показателям:

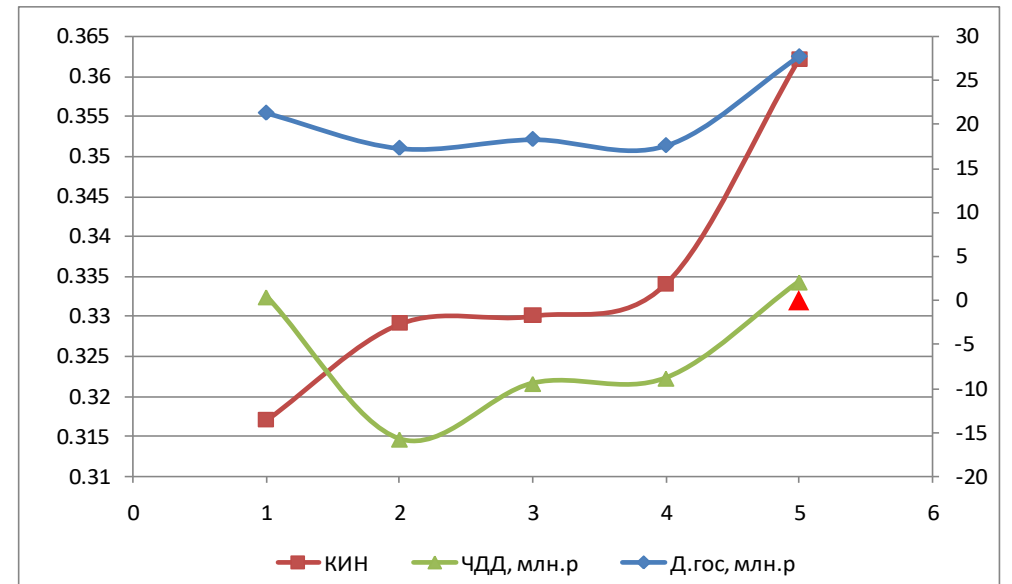
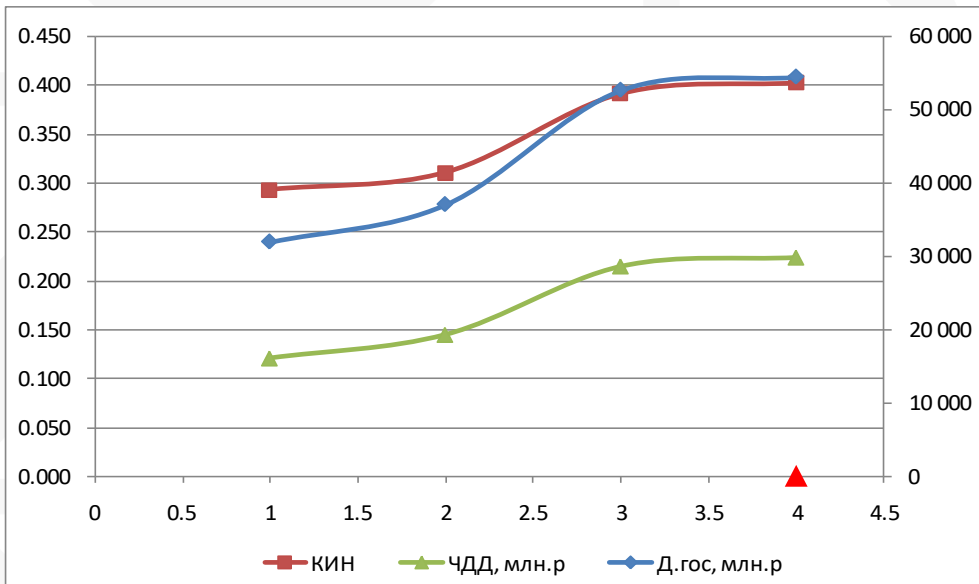
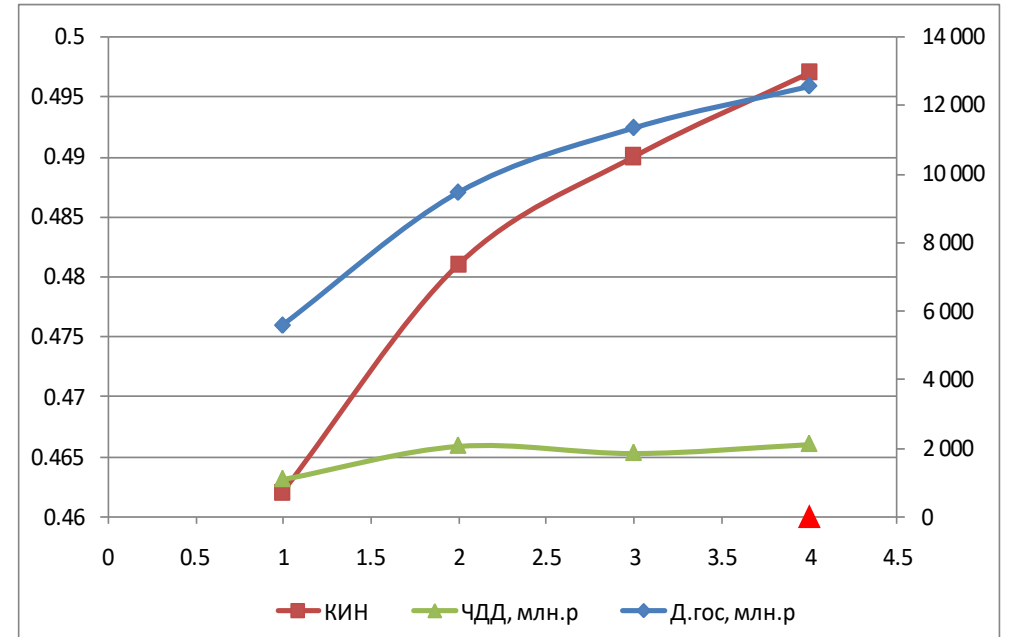
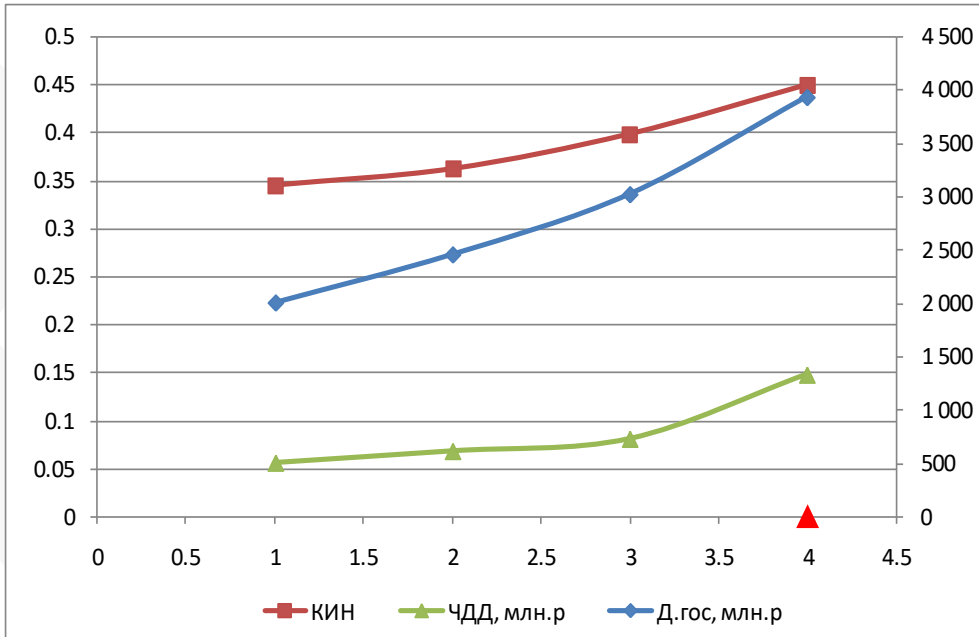
Чистый
дисконтированный
доход (ЧДД)

Коэффициент
извлечения нефти
(КИН);

Внутренняя норма
доходности (ВНД);

Срок окупаемости
капитальных вложений.

Традиционный подход выбора оптимального варианта проекта разработки ЭО





$$T_{\text{опт}}(i) = H_{\text{КИН}}(i) + H_{\text{КИГ}}(i) + H_{\text{КИК}}(i) + H_{\text{NPV}}(i) + H_{\text{ДДГ}}(i)$$

$$H_{\text{КИН}}(i) = \frac{K_{\text{КИН}}(i)}{\max(K_{\text{КИН}}(1) \dots K_{\text{КИН}}(n))};$$

$$H_{\text{КИГ}}(i) = \frac{K_{\text{КИГ}}(i)}{\max(K_{\text{КИГ}}(1) \dots K_{\text{КИГ}}(n))};$$

$$H_{\text{КИК}}(i) = \frac{K_{\text{КИК}}(i)}{\max(K_{\text{КИК}}(1) \dots K_{\text{КИК}}(n))};$$

$$H_{\text{NPV}}(i) = \frac{\text{NPV}(i)}{\max(\text{NPV}_1 \dots \text{NPV}_n)};$$

$$H_{\text{ДДГ}}(i) = \frac{\text{ДДГ}(i)}{\max(\text{ДДГ}_1 \dots \text{ДДГ}_n)};$$

$T_{\text{опт}}(i)$ - интегральный показатель оптимальности i -го варианта разработки ЭО;
 $H_{\text{КИН}}(i)$, $H_{\text{КИГ}}(i)$, $H_{\text{КИК}}(i)$ - нормированный коэффициент извлечения УВС i -го варианта;
 $H_{\text{NPV}}(i)$ - нормированный ЧДД пользователя недр i -го варианта;
 $H_{\text{ДДГ}}(i)$ - нормированный накопленный дисконтированный доход Государства для i -го варианта;
 $K_{\text{КИН}}(i)$, $K_{\text{КИГ}}(i)$, $K_{\text{КИК}}(i)$ - коэффициент извлечения УВС за рентабельный срок разработки для i -го варианта;
 $K_1 \dots K_n$ - коэффициенты извлечения УВС за рентабельный срок для рассмотренных вариантов разработки;
 $\text{NPV}(i)$ - ЧДД пользователя недр для i -го варианта разработки;
 $\text{NPV}_1 \dots \text{NPV}_n$ - ЧДД для вариантов разработки;
 $\text{ДДГ}(i)$ - накопленный дисконтированный доход государства для i -го варианта разработки;
 $\text{ДДГ}_1 \dots \text{ДДГ}_n$ - накопленные дисконтированные доходы Государства для вариантов разработки;
 i - номер варианта разработки;
 n - количество вариантов разработки.

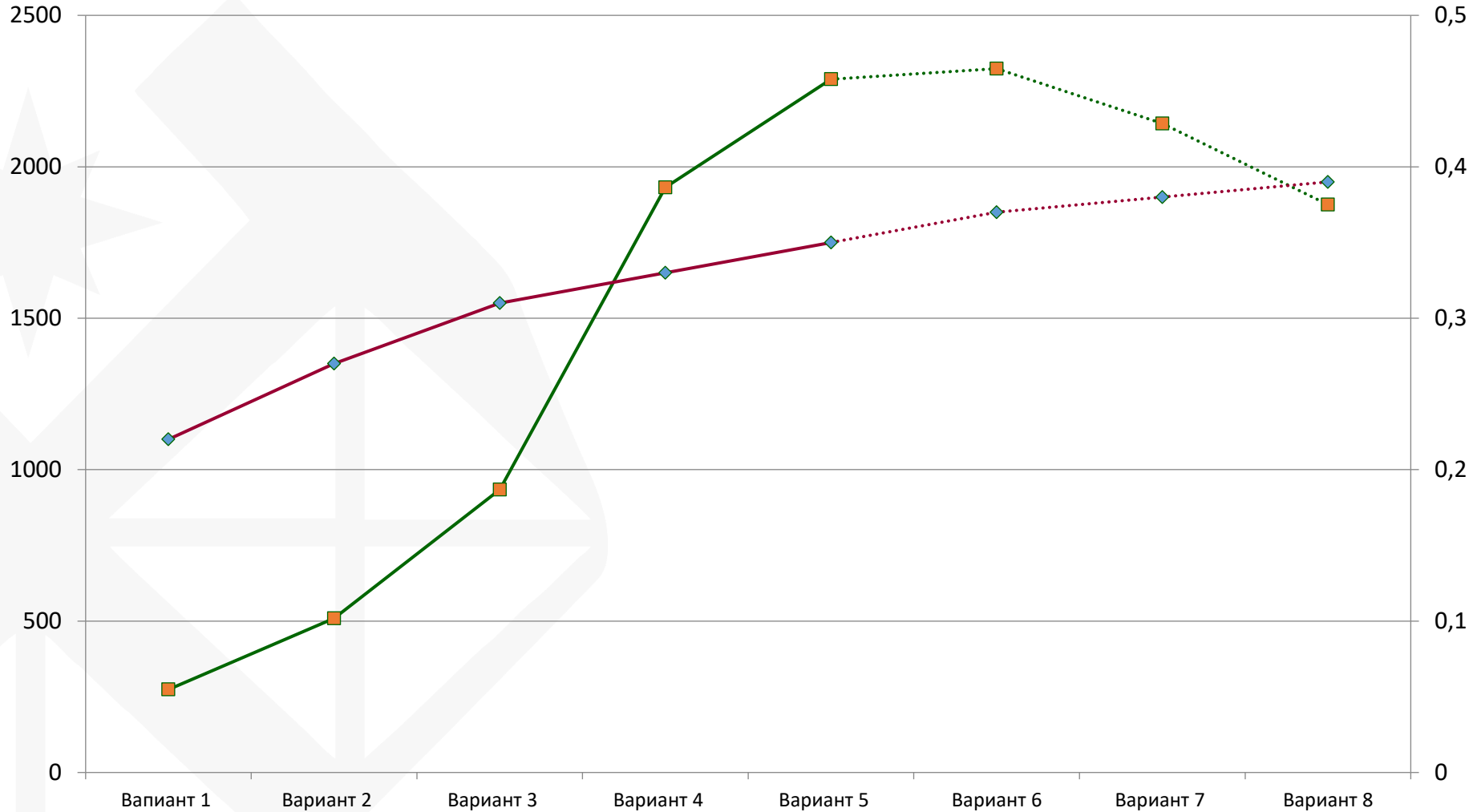


Вариант разработки	КИН	ЧДД
Вариант 1	0,22	274
Вариант 2	0,27	509
Вариант 3	0,31	934
Вариант 4	0,33	1932
Вариант 5	0,35	2289
Вариант 6	0,37	2324
Вариант 7	0,38	2143
Вариант 8	0,39	1875



ЧДД

КИН



Вариант разработки

ЧДД
КИН



Категории запасов	Классификационные признаки категорий запасов и критерии выделения	Точность $\pm\%$
A Достоверные	Разбурена эксплуатационной сеткой скважин в соответствии с проектным документом на разработку.	(5-10)
B Установленные	Разбурена поисковыми, оценочными, разведочными и опережающими эксплуатационными скважинами, давшими промышленные притоки нефти и газа.	(10-20)
C₁ Оцененные	Не разбурена. Изучена сейсморазведкой или иными высоко точными методами в зоне возможного дренирования неопробованных скважин, примыкающей к границам запасов категорий A и B.	(20-30)
C₂ Предполагаемые	Не изучена бурением и находится вне зон дренирования запасов более высоких категорий.	>30



Геологические запасы залежи, млн.т	При оптимальной изученности	Кат. С1	Кат. С2
до 2,5	45-80	45-65	75-95
2,5-10	35-55	25-50	60-80
10-25	30-45	30-40	50-70
25-100	25-40	25-35	36-55



Производится проверка выбранного проекта разработки на устойчивость или чувствительность по экономическим и технологическим показателям:

- цена нефти;
- годовой объём добычи нефти;
- эксплуатационные затраты;
- капитальные вложения;

при предположении, что утвержденные запасы остаются неизменными до конца проектного срока.



- При высокой вероятности отклонении запасов, проектный документ составляется в предположении постоянства запасов;
- Основные показатели проекта, по которым осуществляется выбор, монотонно растут от варианта к варианту, не достигая экстремума или максимума;
- Выбор варианта проекта разработки осуществляется по нескольким показателям, без научно обоснованной методики, основанной на критерии оптимальности.



Составляется модель проекта, учитывающая следующие критерии:

Коэффициент
извлечения нефти-
КИН;

Чисто
дисконтированный
доход-ЧДД;

Отклонение
запасов нефти от
проектного;

Вероятности
отклонений
запасов.

Требуется из множества возможных вариантов проекта разработки определить оптимальный вариант по вышеуказанным критериям.



Обеспечение:

- Максимального уровня чистого дисконтированного дохода – ЧДД;
- Максимально возможного значения коэффициента извлечения нефти – КИН;



В итоге:

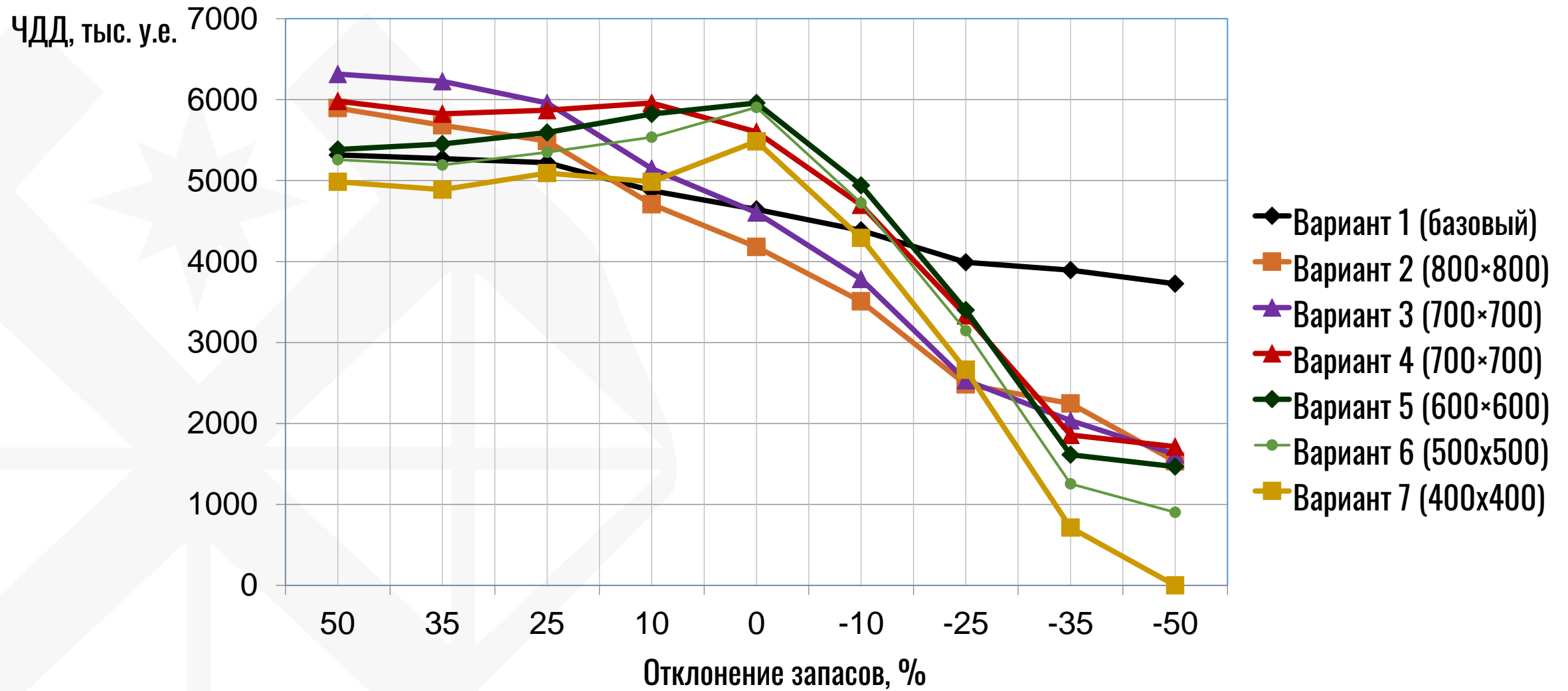
- Максимального уровня ЧДД при достижении максимально возможного значения конечного КИН при ожидаемых отклонениях запасов.



Варианты разработки	КИН	Отклонение запасов, %								
		50	35	25	10	0	-10	-25	-35	-50
Вариант 1 (базовый)	0,189	1647	1602	1551	1206	974	715	321	223	56
Вариант 2 (800×800)	0,274	2225	2013	1818	1036	509	-163	-1188	-1424	-2137
Вариант 3 (700×700)	0,312	2646	2556	2289	1478	934	113	-1137	-1634	-2050
Вариант 4 (700×700)	0,330	2312	2155	2199	2289	1932	1030	-335	-1813	-1956
Вариант 5 (600×600)	0,345	1715	1783	1925	2153	2289	1272	-270	-2057	-2204
Вариант 6 (500х500)	0,352	1587	1523	1680	1867	2235	1054	-523	-2417	-2768
Вариант 7 (400х400)	0,360	1315	1217	1423	1315	1815	623	-1007	-2956	-3670



Варианты разработки	КИН	Отклонение количества запасов, %								
		50	35	25	10	0	-10	-25	-35	-50
Вариант 1 (базовый)	0,189	5317	5272	5221	4876	4644	4385	3991	3893	3726
Вариант 2 (800×800)	0,274	5895	5683	5488	4706	4179	3507	2482	2246	1533
Вариант 3 (700×700)	0,312	6316	6226	5959	5148	4604	3783	2533	2036	1620
Вариант 4 (700×700)	0,330	5982	5825	5869	5959	5602	4700	3335	1857	1714
Вариант 5 (600×600)	0,345	5385	5453	5595	5823	5959	4942	3400	1613	1466
Вариант 6 (500х500)	0,352	5257	5193	5350	5537	5905	4724	3147	1253	902
Вариант 7 (400х400)	0,360	4985	4887	5093	4985	5485	4293	2663	714	1



Оптимальный по ЧДД вариант изменяется при изменении отклонения запасов



Предположение: все состояния природы равновероятны

Альтернатива	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉
A ₁	5317	5272	5221	4876	4644	4385	3991	3893	3726
A ₂	5895	5683	5488	4706	4179	3507	2482	2246	1533
A ₃	6316	6226	5959	5148	4604	3783	2533	2036	1620
A ₄	5982	5825	5869	5959	5602	4700	3335	1857	1714
A ₅	5385	5453	5595	5823	5959	4942	3400	1613	1466
A ₆	5257	5193	5350	5537	5905	4724	3147	1253	902
A ₇	4985	4887	5093	4985	5485	4293	2663	714	1

$$\beta_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{1j} = 4592$$

$$\beta_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{2j} = 3969$$

$$\beta_3 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{3j} = 4247$$

$\max_i \beta_i = 4592 \rightarrow$ Оптимальная альтернатива – A₁

Недостатки: не учитываются потери в случае реализации худшего состояния природы, а также не учитываются вероятности



Предположение: природа может находиться в наилучшем и наихудшем положении с определённой вероятностью

$$\beta_i = K \cdot (\max_j A_{ij}) + (1 - K) \cdot (\min_j A_{ij})$$

K – параметр оптимизма; пусть $K=0,5$

$$\beta_1 = 0,5 \cdot 5317 + 0,5 \cdot 3726 = 4521$$

$$\beta_2 = 0,5 \cdot 5895 + 0,5 \cdot 1533 = 3714$$

$$\beta_3 = 0,5 \cdot 6316 + 0,5 \cdot 1620 = 3968$$

$\max_i \beta_i = 4521 \longrightarrow$ Оптимальная альтернатива – A_1

При $K=0$ критерий Гурвица переходит в критерий Вальда.

Недостаток: зависимость от параметра K

Критерий Сэвиджа:

от максимального значения в столбце отнимаются остальные значения столбца и формируется матрица сожалений



$$\text{Мера сожаления: } \Delta a_{kj} = \max_i a_{ij} - a_{kj}$$

Стратегия ЛПР	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉
A ₁	5317	5272	5221	4876	4644	4385	3991	3893	3726
A ₂	5895	5683	5488	4706	4179	3507	2482	2246	1533
A ₃	6316	6226	5959	5148	4604	3783	2533	2036	1620
A ₄	5982	5825	5869	5959	5602	4700	3335	1857	1714
A ₅	5385	5453	5595	5823	5959	4942	3400	1613	1466
A ₆	5257	5193	5350	5537	5905	4724	3147	1253	902
A ₇	4985	4887	5093	4985	5485	4293	2663	714	1

Матрица сожалений: ↓

A ₁	999	954	738	1083	1315	557	0	0	0
A ₂	421	543	471	1253	1780	1435	1509	1647	2193
A ₃	0	0	0	811	1355	1159	1458	1857	2106
A ₄	334	401	90	0	357	242	656	2036	2012
A ₅	931	773	364	136	0	0	591	2280	2260
A ₆	1059	1033	609	422	54	218	844	2640	2824
A ₇	1331	1339	866	974	474	649	1328	3179	3726



Анализ матрицы сожалений, нахождение оптимальной альтернативы:

$$\beta_1 = \max_j \Delta A_{1j} = 1315$$

$$\beta_5 = \max_j \Delta A_{5j} = 2280$$

$$\beta_2 = \max_j \Delta A_{2j} = 2193$$

$$\beta_6 = \max_j \Delta A_{6j} = 2824$$

$$\beta_3 = \max_j \Delta A_{3j} = 2106$$

$$\beta_7 = \max_j \Delta A_{7j} = 3726$$

$$\beta_4 = \max_j \Delta A_{4j} = 2036$$

$$\min_i \beta_i = 1315$$



Оптимальная альтернатива - A1

Недостатки: плохая наглядность, учет только абсолютных сожалений

Критерий максимума ожидаемой полезности:
построчно все значения умножаются на вероятности и суммируются,
максимальная есть оптимальная альтернатива.



P_j – вероятность реализации состояния природы V_j

Отклонение запасов, %	50	35	25	10	0	-10	-25	-35	-50
Вероятность, %	16	32	18	12	10	7	3	1,5	0,5

$$\beta_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot P_j$$

$$\beta_1 = 5031$$

$$\beta_4 = 5618$$

$$\beta_7 = 4816$$

$$\beta_2 = 5094$$

$$\beta_5 = 5388$$

$$\beta_3 = 5533$$

$$\beta_6 = 5169$$

$$\max_i \beta_i = 5618 \quad \longrightarrow \quad \text{Оптимальная альтернатива – } A_4$$

$$\beta_1 = 5317 \cdot 0,16 + 5272 \cdot 0,32 + 5221 \cdot 0,18 + 4876 \cdot 0,12 + 4644 \cdot 0,1 + 4385 \cdot 0,07 + 3991 \cdot 0,03 + 3893 \cdot 0,015 + 3726 \cdot 0,005 \cong 5031$$

Недостаток: не учитываются потери в случае реализации худшего состояния природы.



$$\beta_i = K \cdot \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot P_j \right) + (1 - K) \cdot \left(\min_j a_{ij} \right) \quad K=0,5$$

Результаты расчетов приведены в таблице ниже:

Вариант	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
Значение критерия	4378	3313	3577	3666	3427	3036	2408

$$\beta_1 = 5031 \cdot 0,5 + 3726 \cdot 0,5 \approx 4378$$

$$\max_i \beta_i = 4378 \quad \longrightarrow \quad \text{Оптимальная альтернатива – A}_1$$

Недостаток: сложность выбора оптимального значения параметра K



Получили оценку всех альтернатив по нескольким критериям, т.е. альтернативы были оценены различными «экспертами»;

Степень оптимальности той или иной альтернативы определяется значением ЧДД, которое было поставлено критерием в соответствие этой альтернативе.



Вариант	Лаплас	Сэвидж	Гур (K=0,1)	Гур (K=0,2)	Гур (K=0,5)	Гур (K=0,8)	Гур (K=0,9)	Макс. о.п.	Х-Л (K=0,1)	Х-Л (K=0,2)	Х-Л (K=0,5)	Х-Л (K=0,8)	Х-Л (K=0,9)
1	4592	1315	3885	4044	4522	4999	5158	5031	3856	3987	4378	4770	4900
2	3969	2193	1969	2405	3714	5023	5459	5094	1889	2245	3313	4381	4737
3	4247	2106	2090	2559	3968	5377	5846	5533	2011	2403	3577	4750	5142
4	4538	2036	2141	2568	3848	5128	5555	5618	2104	2495	3666	4837	5228
5	4404	2280	1915	2365	3713	5060	5510	5388	1858	2250	3427	4603	4996
6	4141	2824	1402	1903	3404	4904	5405	5169	1329	1755	3036	4316	4742
7	3678	3726	549	1097	2743	4388	4937	4816	482	963	2408	3853	4334

Число на пересечении 1-й строки и 1-го столбца показывает, насколько оптимален 1-й вариант по 1-у критерию.

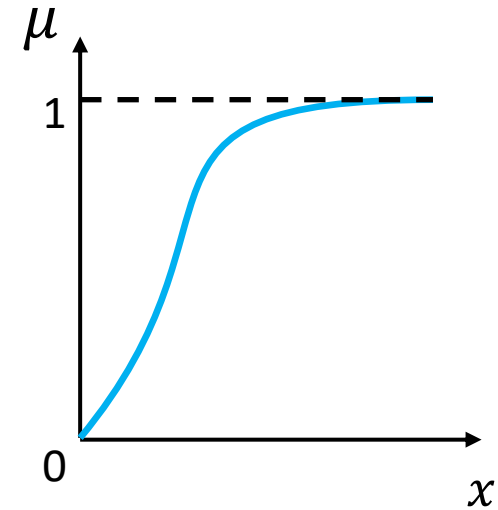
Необходимо определить, какой вариант является оптимальным по совокупности всех критериев.



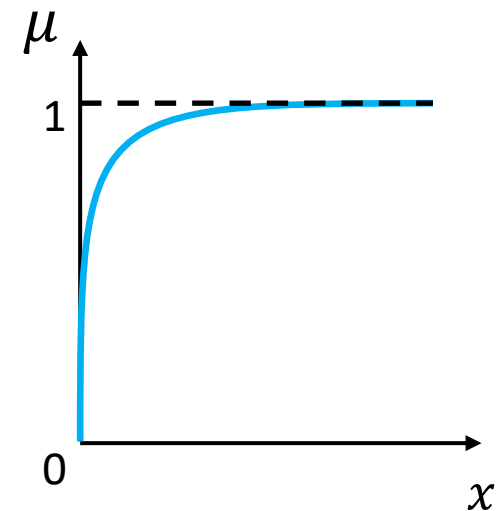
Процессы принятия решений, в которых тем или иным образом присутствует расплывчатость, могут изучаться с различных точек зрения. По мнению профессора Л.Заде - *«основное внимание уделяется введению трех фундаментальных понятий — расплывчатой цели, расплывчатого ограничения и расплывчатого решения, а также исследованию их применения к многошаговым процессам принятия решений, в которых цели или ограничения могут быть расплывчатыми, а управляемая система может быть либо детерминированной, либо стохастической, но не расплывчатой»*



$$\mu(x) = 1 - \exp(-Kx^\alpha), \quad K > 0, \quad \alpha > 0$$



$$\mu(x) = 1 - \frac{1}{k_1x + k_2}, \quad k_1 > 0, \quad k_2 > 1$$





Традиционное понятие множества – «чёткое» множество:

$X = \{x\}$, где все элементы x принадлежат множеству X

Нечёткое множество: $A = \{x, \mu_A(x)\}$

Значение $\mu_A(x)$ определяет степень принадлежности элемента x нечёткому множеству A

$\mu_A(x)$ - функция принадлежности нечёткого множества A



Нечёткие множества вида «оптимальная альтернатива по 1-у критерию»;

Элементы каждого из этих множеств – альтернативы (варианты разработки);

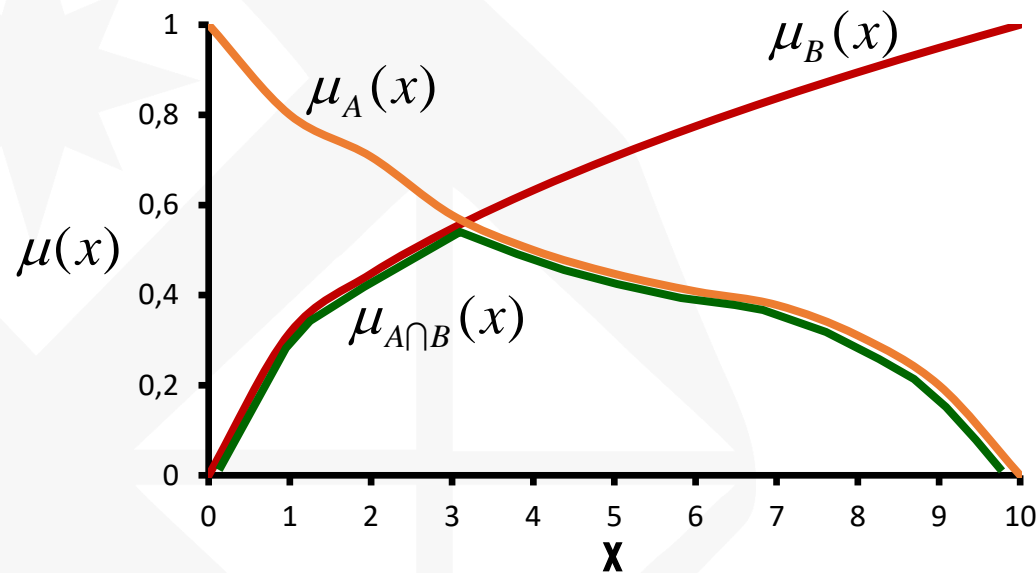
Значения μ определяют степень оптимальности альтернатив: μ однозначно определяется значениями ЧДД.





Пересечение нечётких множеств:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$$



A – «оптимальный вариант по критерию A»

B – «оптимальный вариант по критерию B»

A ∩ B – «оптимальный вариант по совокупности критериев A и B»

x – вариант разработки

Таким образом, чтобы определить функцию принадлежности множества $A \cap B$ (пересечение множеств A и B), необходимо знать функции принадлежности множеств A и B.



Общий вид функции принадлежности:

$$\mu(x) = 1 - \frac{1}{k_1 x + k_2} \quad (1)$$

x - значение ЧДД, соответствующее какой-либо альтернативе

Задача:

получить значения $\mu(x)$ для каждой альтернативы во всех множествах вида «оптимальная альтернатива по i -му критерию».

Решение:

- определяем коэффициенты k_1 и k_2 для одного множества (критерия);
- подставляя значения ЧДД в соотношение (1), определяем значения $\mu(x)$ для всех альтернатив в этом множестве;
- аналогично определяем k_1 , k_2 и $\mu(x)$ для всех остальных множеств (критериев).



Определение коэффициентов k_1 и k_2 для одного множества (критерия):

$$\begin{cases} \mu(x_{\min}) = 1 - \frac{1}{k_1 x_{\min} + k_2} = 0,1 \\ \mu(x_{\max}) = 1 - \frac{1}{k_1 x_{\max} + k_2} = 0,9 \end{cases}$$

x_{\max} - значение ЧДД, соответствующее оптимальной альтернативе

x_{\min} - значение ЧДД, соответствующее наихудшей альтернативе

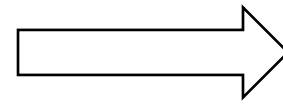
Решая систему уравнений, находим неизвестные k_1 и k_2 .

Расчет функции принадлежности (пример для критерия Лапласа)



Вариант разработки	Сумма значений ЧДД
Вариант 1	4592
Вариант 2	3969
Вариант 3	4247
Вариант 4	4538
Вариант 5	4404
Вариант 6	4141
Вариант 7	3678

$$\begin{cases} 1 - \frac{1}{k_1^{\mathcal{L}} \cdot 3678 + k_2^{\mathcal{L}}} = 0,1 \\ 1 - \frac{1}{k_1^{\mathcal{L}} \cdot 4592 + k_2^{\mathcal{L}}} = 0,9 \end{cases}$$



$$\mu_{\mathcal{L}}(x) = 1 - \frac{1}{k_1^{\mathcal{L}} x + k_2^{\mathcal{L}}}$$

$$k_1^{\mathcal{L}} = ? \quad k_2^{\mathcal{L}} = ?$$

$$\begin{cases} \mu_{\mathcal{L}}(3678) = 0,1 \\ \mu_{\mathcal{L}}(4592) = 0,9 \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_1 = 0,0097253 \\ k_2 = 34,6584 \end{cases}$$



$$\mu_L(x) = 1 - \frac{1}{\frac{0,0097253 \cdot \text{ЧДД} - 34,6584}{k_1} + \frac{1}{k_2}}$$

Множество «оптимальное решение по критерию Лапласа»:

Вариант разработки	Значение μ
Вариант 1	0,900
Вариант 2	0,404
Вариант 3	0,748
Вариант 4	0,890
Вариант 5	0,851
Вариант 6	0,525
Вариант 7	0,100



Вариант	Лаплас	Сэвидж	Гур (K=0,1)	Гур (K=0,2)	Гур (K=0,5)	Гур (K=0,8)	Гур (K=0,9)	Макс. о.п.	Х-Л (K=0,1)	Х-Л (K=0,2)	Х-Л (K=0,5)	Х-Л (K=0,8)	Х-Л (K=0,9)	min μ
1	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,849	0,695	0,714	0,900	0,900	0,900	0,893	0,852	0,695
2	0,746	0,852	0,796	0,802	0,832	0,853	0,839	0,761	0,792	0,795	0,808	0,830	0,805	0,746
3	0,850	0,859	0,808	0,819	0,862	0,900	0,900	0,890	0,805	0,813	0,843	0,891	0,891	0,805
4	0,895	0,864	0,813	0,820	0,849	0,871	0,860	0,900	0,814	0,822	0,853	0,900	0,900	0,813
5	0,878	0,845	0,790	0,797	0,832	0,860	0,851	0,866	0,789	0,796	0,825	0,873	0,870	0,789
6	0,822	0,775	0,705	0,718	0,773	0,826	0,824	0,801	0,701	0,709	0,746	0,811	0,807	0,701
7	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100

Максимальное из минимальных значений μ : 0,813. Это значение соответствует 4-му варианту разработки.

По совокупности критериев оптимальным является вариант No4.

КИН как критерий (таблица)



Вариант	КИН	Лаплас	Сэвидж	Гур (K=0,1)	Гур (K=0,2)	Гур (K=0,5)	Гур (K=0,8)	Гур (K=0,9)	Макс. о.п.	Х-Л (K=0,1)	Х-Л (K=0,2)	Х-Л (K=0,5)	Х-Л (K=0,8)	Х-Л (K=0,9)	min μ
1	0,100	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,849	0,695	0,714	0,900	0,900	0,900	0,893	0,852	0,100
2	0,819	0,746	0,852	0,796	0,802	0,832	0,853	0,839	0,761	0,792	0,795	0,808	0,830	0,805	0,746
3	0,867	0,850	0,859	0,808	0,819	0,862	0,900	0,900	0,890	0,805	0,813	0,843	0,891	0,891	0,805
4	0,882	0,895	0,864	0,813	0,820	0,849	0,871	0,860	0,900	0,814	0,822	0,853	0,900	0,900	0,813
5	0,892	0,878	0,845	0,790	0,797	0,832	0,860	0,851	0,866	0,789	0,796	0,825	0,873	0,870	0,789
6	0,896	0,822	0,775	0,705	0,718	0,773	0,826	0,824	0,801	0,701	0,709	0,746	0,811	0,807	0,701
7	0,900	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100

По совокупности критериев оптимальным является вариант №4.



Варианты разработки	Отклонение количества запасов, %								
	50	35	25	10	0	-10	-25	-35	-50
Вариант 1 (базовый)	0,181 5317	0,183 5272	0,186 5221	0,189 4876	0,189 4644	0,191 4385	0,192 3991	0,192 3893	0,194 3726
Вариант 2 (800×800)	0,269 5895	0,271 5683	0,271 5488	0,273 4706	0,274 4179	0,275 3507	0,277 2482	0,277 2246	0,279 1533
Вариант 3 (700×700)	0,306 6316	0,31 6226	0,31 5959	0,312 5148	0,312 4604	0,314 3783	0,314 2533	0,317 2036	0,319 1620
Вариант 4 (700×700)	0,325 5982	0,326 5825	0,326 5869	0,328 5959	0,33 5602	0,33 4700	0,333 3335	0,333 1857	0,335 1714
Вариант 5 (600×600)	0,34 5385	0,343 5453	0,342 5595	0,344 5823	0,345 5959	0,346 4942	0,348 3400	0,348 1613	0,35 1466
Вариант 6 (500×500)	0,347 5257	0,348 5193	0,35 5350	0,351 5537	0,352 5905	0,354 4724	0,354 3147	0,355 1253	0,357 902
Вариант 7 (400×400)	0,356 4985	0,358 4887	0,36 5093	0,36 4985	0,36 5485	0,361 4293	0,363 2663	0,364 714	0,365 1
	0,181 5317	-КИН -ЧДД							



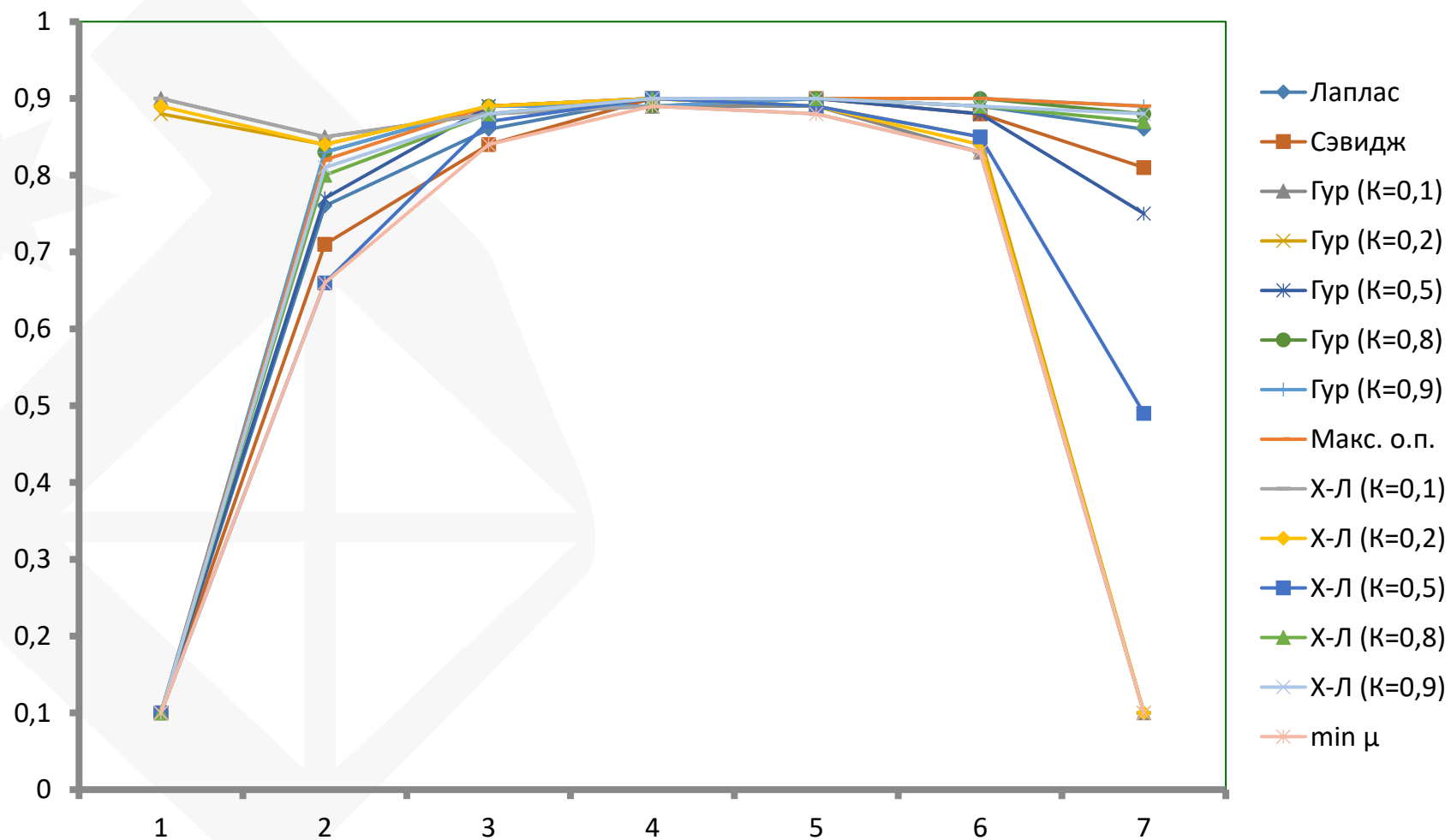
Варианты разработки	Отклонение количества запасов, %								
	<i>50</i>	<i>35</i>	<i>25</i>	<i>10</i>	<i>0</i>	<i>-10</i>	<i>-25</i>	<i>-35</i>	<i>-50</i>
Вариант 1 (базовый)	962,4	964,8	971,1	921,6	877,7	837,5	766,3	747,5	722,8
Вариант 2 (800×800)	1586	1540	1487	1285	1145	964,4	687,5	622,1	427,7
Вариант 3 (700×700)	1933	1930	1847	1606	1436	1188	795,4	645,4	516,8
Вариант 4 (700×700)	1944	1899	1913	1955	1849	1551	1111	618,4	574,2
Вариант 5 (600×600)	1831	1870	1913	2003	2056	1710	1183	561,3	513,1
Вариант 6 (500×500)	1824	1807	1873	1943	2079	1672	1114	444,8	322
Вариант 7 (400×400)	1775	1750	1833	1795	1975	1550	966,7	259,9	0,4

Элементы матрицы равны произведению ЧДД · КИН



Вариант	Лаплас	Сэвидж	Гур (K=0,1)	Гур (K=0,2)	Гур (K=0,5)	Гур (K=0,8)	Гур (K=0,9)	Макс. о.п.	Х-Л (K=0,1)	Х-Л (K=0,2)	Х-Л (K=0,5)	Х-Л (K=0,8)	Х-Л (K=0,9)	min μ
1	0,10	0,10	0,90	0,88	0,10	0,10	0,10	0,10	0,90	0,89	0,10	0,10	0,10	0,10
2	0,76	0,71	0,85	0,84	0,77	0,83	0,83	0,82	0,85	0,84	0,66	0,80	0,81	0,66
3	0,86	0,84	0,88	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88	0,89	0,87	0,88	0,88	0,84
4	0,90	0,90	0,89	0,90	0,90	0,89	0,89	0,90	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89
5	0,90	0,90	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,88
6	0,89	0,88	0,83	0,85	0,88	0,90	0,90	0,90	0,83	0,84	0,85	0,89	0,89	0,83
7	0,86	0,81	0,10	0,10	0,75	0,88	0,89	0,89	0,10	0,10	0,49	0,87	0,88	0,10

По совокупности критериев оптимальным является вариант №4.





Методика позволяет определить оптимальный вариант разработки месторождения в условиях неопределённости и риска связанного с ожидаемым отклонением запасов;

Результат опирается на различные критерии теории игр и теории нечётких множеств;

Критерии могут быть исключены из рассмотрения или добавлены новые;

Учитываются наиболее значимые для разработчика показатели: ЧДД, КИН;

Имеется возможность учёта и других показателей, в любом количестве;

Учитывается риск, привнесённый отклонением утверждённых в проекте запасов.



Спасибо за внимание!