



# **интервальные модели оценки эффективности инвестиционных проектов электроэнергетики**

**А.П. Воцинин,**

главный научный сотрудник, д.т.н., профессор,

**А.В. Тюрин,**

Заместитель Генерального директора, к.т.н.

**ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ»**

e-mail: [apv@ainf.ru](mailto:apv@ainf.ru)

# Содержание

- ❑ Особенности инвестиционных проектов электроэнергетики (ИПЭС).
- ❑ Подходы UNIDO и МАГАТЭ к оценке эффективности ИПЭС в условиях неопределенности и риска.
- ❑ Новая парадигма описания неопределенности (модели неопределенных чисел) и оценки финансовых рисков.
- ❑ Предлагаемая концепция интервального моделирования и оценки эффективности ИПЭС в условиях неопределенности и риска.
- ❑ Программа Интервал-Инвест для оценки эффективности и конкурентоспособности ИПЭС в условиях неопределенности и рисков.

# Особенности инвестиционных проектов ЭЭ.

1. Устойчивое развитие энергетики РФ основано на реализации конкурентоспособных энерготехнологий (газ, уголь, ЯТ, гидро и др.) и экономически эффективных инвестиционных проектов электростанций (**ИПЭС**).
2. **ИПЭС** требуют значительных объемов капиталовложений (600÷1000 долларов за кВт установленной мощности) и имеют длительный жизненный цикл (50÷70 лет, включая этапы проектирования, лицензирования, строительства, эксплуатации и снятия объектов с эксплуатации).
3. Оценка эффективности и выбор экономически эффективных **ИПЭС** проводится при неопределенных условиях их реализации в длительной перспективе (неопределенность потребности в электроэнергии, цен на топливо, электроэнергию, тепло и др.). Как следствие, - высокие финансовые риски **ИПЭС**.

## Общие (UNIDO, Минэкономразвития РФ)

- Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов, М.: Экономика, 2000.
- Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов, Теория и практика, 2001.

### Показатели эффективности ИП:

- ✓ Чистый дисконтированный доход (ЧДД); внутренняя норма доходности (ВНД); срок окупаемости; индекс доходности дисконтированных затрат (ИДДЗ).

## Для ИПЭС (МАГАТЭ, РАН)

**МАГАТЭ** (Ж. Госсен, 1965, Evaluation of Bids for NPP, Series №396 1999);

**ИНЭИ РАН** ( Браилов В.П., Волкова, Макаров А.А. и др.), **ИБРАЭ РАН**  
(Кархов А.Н.)

**Минатом РФ** (Шевелев Я.В., Клименко А.В., Батов В.В, Корякин Ю.И.,  
Толстоухов Д.А. и др.);

### Показатели эффективности ИПЭС:

- ✓ Дисконтированные затраты; удельные дисконтированные затраты, тариф безубыточности (ТБУ), ЧДД, ВНД.

«Риск – это событие, связанное с риском; вероятность риска  $R$ ; ущерб  $Y$  (величина денежной суммы, подвергаемой риску).

## Методы оценки финансового риска ИП (UNIDO, МАГАТЭ)

Оценка устойчивости

Анализ чувствительности

### Сценарный анализ

1. Формирование сценариев  $S_i$  условий реализации.
2. Экспертная оценка их вероятности  $P_i (i=1, 2, 3...)$

1. Оценка риска отрицательного результата  $R$
2. Оценка величины ущерба  $Y$

$$R = \sum P_j^-$$

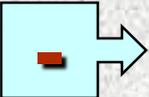
$P_j^-$  – вероятности сценариев с отрицательными результатами.

$$Y_{\text{э}} = \frac{\sum |\text{э}_j| \cdot P_j^-}{R}$$

# Сравнение концепций риска UNIDO и МАГАТЭ

- ❑ Одинаковое определение риска, как вероятности неблагоприятного события.
- ❑ Одинаковые методы оценки риска (анализ чувствительности, сценарный анализ).
- ❑ Разные показатели эффективности и понятия «отрицательного результата»:
  - **UNIDO**: основной показатель – **ЧДД** (млн.долл.); отрицательный результат, если **ЧДД < 0**.
  - **МАГАТЭ**: основной показатель – **ТБУ\*** (цент/кВт.ч); отрицательный результат, если - **ТБУ > С** (заданная величина).

- 
- ✓ Стандартная процедура оценки риска (сценарный анализ).
  - ✓ Наличие пакетов программ для оценки эффективности ИП (*ProjectExpert, ТЭО-Инвест, Альт-Инвест, Атом-Инвест, Finplan* и др.).

- 
- ✓ Отсутствие в существующих пакетах модулей оценки риска (проводится только анализ чувствительности). Узкая трактовка *риска*, как вероятности, а не возможности. Игнорирование современной парадигмы описания неопределенности и оценки риска.

\* *Примечание: Evaluation of Bids for NPP, 1999*

# Новая парадигма неопределенности и риска

Источники  
неопределённости



1. Неопределенность порождается многими факторами. Наиболее универсальная форма описания неопределенности в данных – интервальное представление.
2. Т.к. случайность - только один, и не всегда главный источник неопределенности, более корректное определение риска как **возможность** (а не **вероятность**) неблагоприятного события.

# Новая парадигма- модели неопределенных чисел (НЧ):

## Вероятностные

$$x=N(m_x=2; \sigma=0.25)$$

$$y=N(m_x=6; \sigma=1)$$

## Нечеткие

$$x= (\mu_x; 1 < x < 3)$$

$$y=(\mu_y; 4 < y < 8)$$

## Интервальные

$$[x]= [1 < x < 3]$$

$$[y]= [4 < y < 8]$$

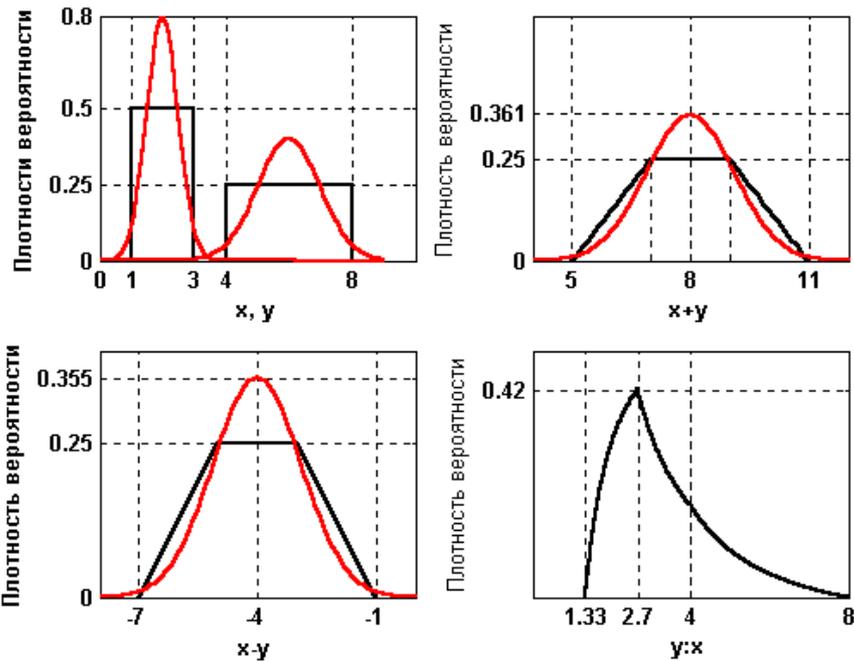
Термин **НЧ** впервые предложен в монографии С. Ферсона «Оценка риска с неопределенными числами», 2003 г.

Общие свойства неопределенных чисел (x, y, z...).

- ❑ Все **НЧ** имеют ограниченный диапазон возможных значений - **интервал**. На интервале может быть задана некоторая мера группировки значений: плотность вероятности, функция принадлежности, равновозможные значения.
- ❑ С **НЧ** можно проводить арифметические действия. Неопределенное число равно только самому себе. Если даны два нечетких числа a и b с одинаковыми интервалами, то a-a=0, a/a=1, но b-a≠0, b/a≠1.
- ❑ Для **НЧ** можно проверять гипотезы (логические отношения) типа a>c; b<a; b<a. Гипотезы выполняются с некоторой достоверностью, разной для разных моделей.

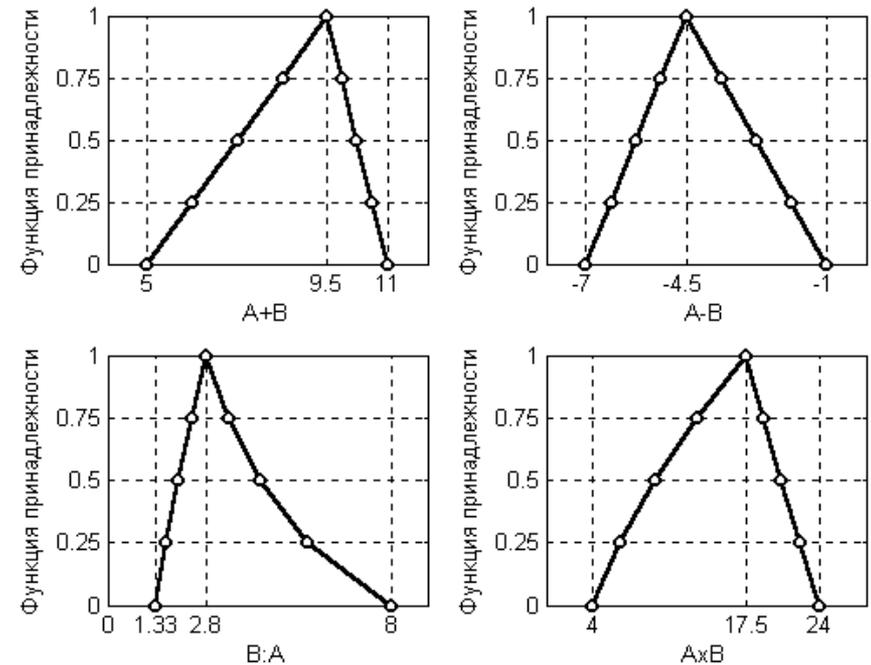
# Арифметические операции с вероятностными и нечеткими числами:

## Вероятностная модель НЧ (мера-плотность вероятности)



$$\underline{x} = [1; 3]; \underline{y} = [4; 8].$$

## Нечеткая модель НЧ (мера-функция принадлежности)



$$\underline{A} = [1; 3]; \underline{B} = [4; 8].$$

# Интервальная модель НЧ

1. Интервальное число:  $[a]=[a_{мин}; a_{макс}]$ . Мера – отсутствует. Все значения внутри интервала  $[a]$  считаются «равновозможными».
2. Арифметика: Даны  $[a]=[a_{мин}; a_{макс}]$  и  $[b]=[b_{мин}; b_{макс}]$ . Результат операции  $[z]=[a]\#[b]$  определяется из условия  $[z]=[мин(a\#b); макс(a\#b)]$ .

$$[a] = [1; 3]; [b] = [4; 8].$$

$[a]+[b]$	$[a]-[b]$	$[b]:[a]$	$[a]\cdot[b]$
[5; 11]	[-7; -1]	[4/3; 8]	[4; 24]

$[1; 3] - [1; 3]=?$  Если  $[a]-[a]$ , то **0**; иначе [-2; 2].

$[1; 3] : [1; 3]=?$  Если  $[a] : [a]$ , то **1**; иначе [1/3; 3].

1. Границы возможных значений результата при любой модели НЧ определяются по правилам интервальной арифметики.
2. При нечеткой модели НЧ интервальная арифметика используется на каждом срезе дискретизованного нечеткого числа.

# Интервально-вероятностная модель оценки рисков ИПЭС в программе Интервал-Инвест.

1. Для оценки эффективности и рисков ИПЭС используются показатели, рекомендуемые UNIDO и МАГАТЭ (*ЧД, ЧДД, ВНД, ИДДЗ, ТБУ*).
2. ТЭП проекта вводятся в интервальном виде. В предположении постоянных ежегодных финансовых потоков автоматически формируются два экстремальных сценария (пессимистический и оптимистический).
3. Эксперт выбирает тип плотности распределения (равномерное или треугольное) между экстремальными сценариями и задает положение базового сценария относительно границ (в виде числа  $0 < \lambda < 1$ ).
4. Задаются условия отрицательного результата: рекомендуются: *ЧД > 0, ЧДД > 0; ВНД > 20%, ИДДЗ > 1.2, ТБУ > С* ( $\cong$  2 цент/кВт.ч).
5. Рассчитываются интервальные значения показателей для крайних сценариев. (Доказано, что показатели любого промежуточного сценария будут лежать внутри рассчитанных интервальных границ).
6. С учетом выбранного типа распределения вычисляется оценка риска получения отрицательного результата.

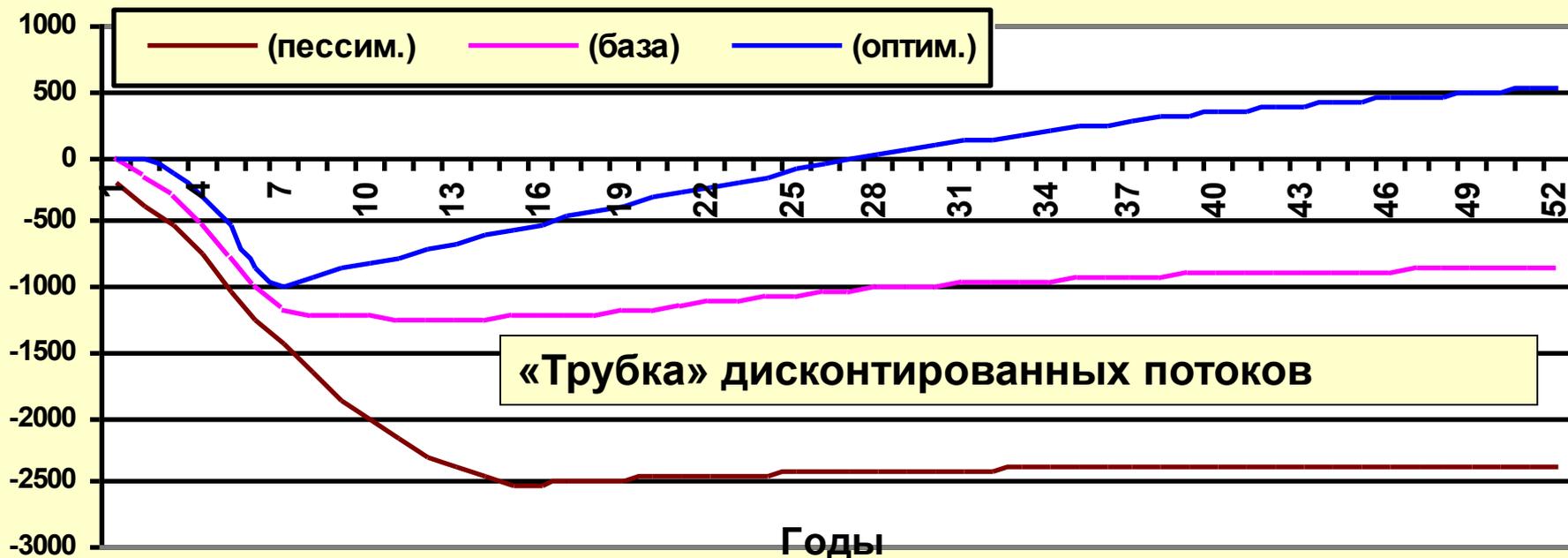
# Пример: Оценка ИП АЭС – входные данные и крайние сценарии

Интервальные значения параметров (мин.- макс.)	Минимум	Максимум
<b>Внешние параметры условий реализации</b>		
Тариф на электроэнергию с шин АЭС (цент./Квт.ч)	2	2,5
Цена ядерного топлива (долл. за кг. U)	600	900
КИУМ	0,8	0,9
Норма дисконта (%)	5	10
Момент приведения (год) - (общий для вариантов)	7	7
Ставка налога с прибыли(%)	15	23
Амортизация: учитывается -1; нет - 0 (общее условие)	1	1
Внешнее кредитование: есть- 1, нет-0 (общее условие)	1	1
Доля в общих капиталовложениях (%)	20	25
Срок возврата кредита (лет)	15	20
Процентная ставка кредита (%)	7	10
<b>ТЭП АЭС</b>		
Установленная электр. мощность (МВт)-одинаковая	1000	1000
Срок строительства Тс (лет)	5	7
Удельная стоимость строительства (долл./КВт)	900	1100
Срок службы (лет) - одинаковый	45	45
Постоянные расходы на экспл., ремонт. (млн.долл. в год)	35	40
Глубина выгорания топлива (МВт(т)сут./кг.У)	40	50
К.П.Д. установки	0,33	0,36
Расход эл.энергии на соб.нужды (% от ген. мощ.)	5	7
Капитальные вложения по годам (по вертикали) в %.	10	10,0
	20	10,0
	20	10,0
	35	15,0
	15	20,0
		20,0
		15,0
Предельный уровень тарифа безубыточности (цент/кВт.ч)		2,0
Предельный уровень ВНД в % (рекоменд. не менее чем 20%)		25,0
Предельно уровень ИДДЗ (рекоменд. не менее чем 1.2)		1,2
Позиция базового сценария относительно границ (0<I<1)		0,50

Сценарии		
Пессим.	Базовый	Оптим.
2	2,25	2,5
900	750	600
0,8	0,85	0,9
10	7,5	5
7	7	7
23	19	15
1	1	1
1	1	1
25	22,5	20
15	18	20
10	8,5	7
0	0	0
1000	1000	1000
7	6	5
1100	1000	900
45	45	45
40	37,5	35
40	45	50
0,33	0,345	0,36
7	6	5
110	0	0
110	111	0
110	111	90
165	167	180
220	222	180
220	222	315
165	167	135

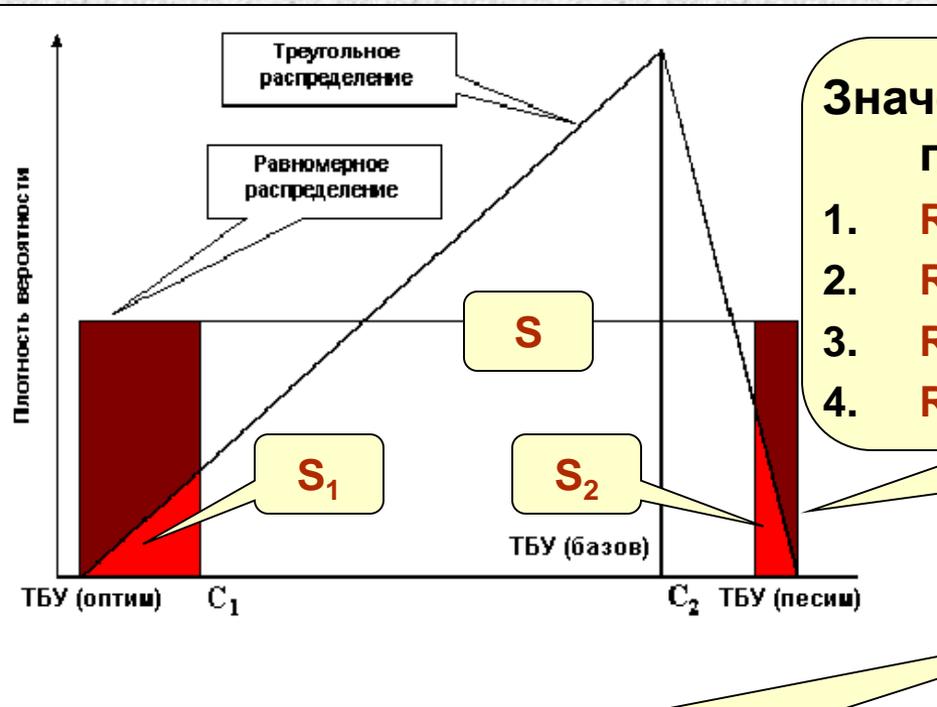
$\lambda=0.5.$

# Пример: Оценка ИП АЭС – Интервальные показатели и риск отрицательного результата



Показатели эффективности и доходности	Критерии			Риск
	Пессим.	Базовый	Оптимис.	
1. Чистый недисконтированный доход (ЧД) (млн.долл) (порог 0)	-1393,1	1222,2	3287,0	0,30
2. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) (млн.долл.) (порог 0)	-2373,3	-855,1	521,8	0,82
3. Внутренняя норма доходности (%) (порог 20%)	0,0	2,5	7,5	1,00
4. Индекс доходности дисконтированных затрат (порог 1.2)	0,36	0,76	1,34	0,86
5. Тариф безубыточности МАГАТЭ (цент/кВт.ч.) (порог 2 цент/кВт.ч.)	2,82	1,77	1,28	0,53
6. Срок окупаемости недисконтированный (лет)	0	33	19	
7. Срок окупаемости дисконтированный (лет)	0	0	27	
8. Недисконтированные затраты (млн.долл.)	6788	5161	4323	
9. Дисконтированные затраты (млн.долл.)	3556	2673	2484	

# Оценка финансовых рисков при разных распределениях

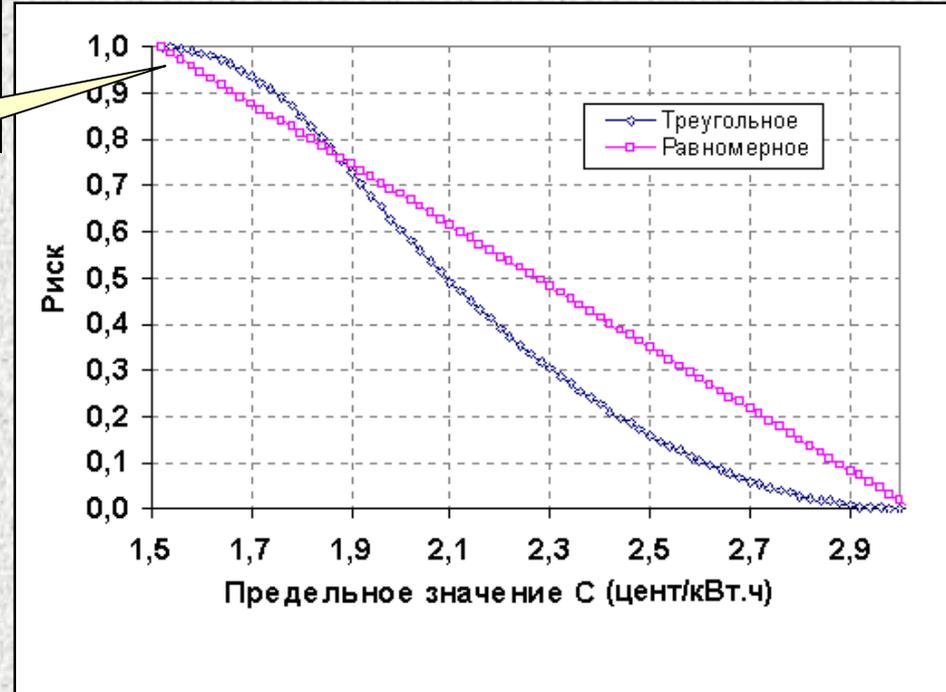


Значение риска  $R$  зависит от положения порога  $C$  относительно границ ТБУ:

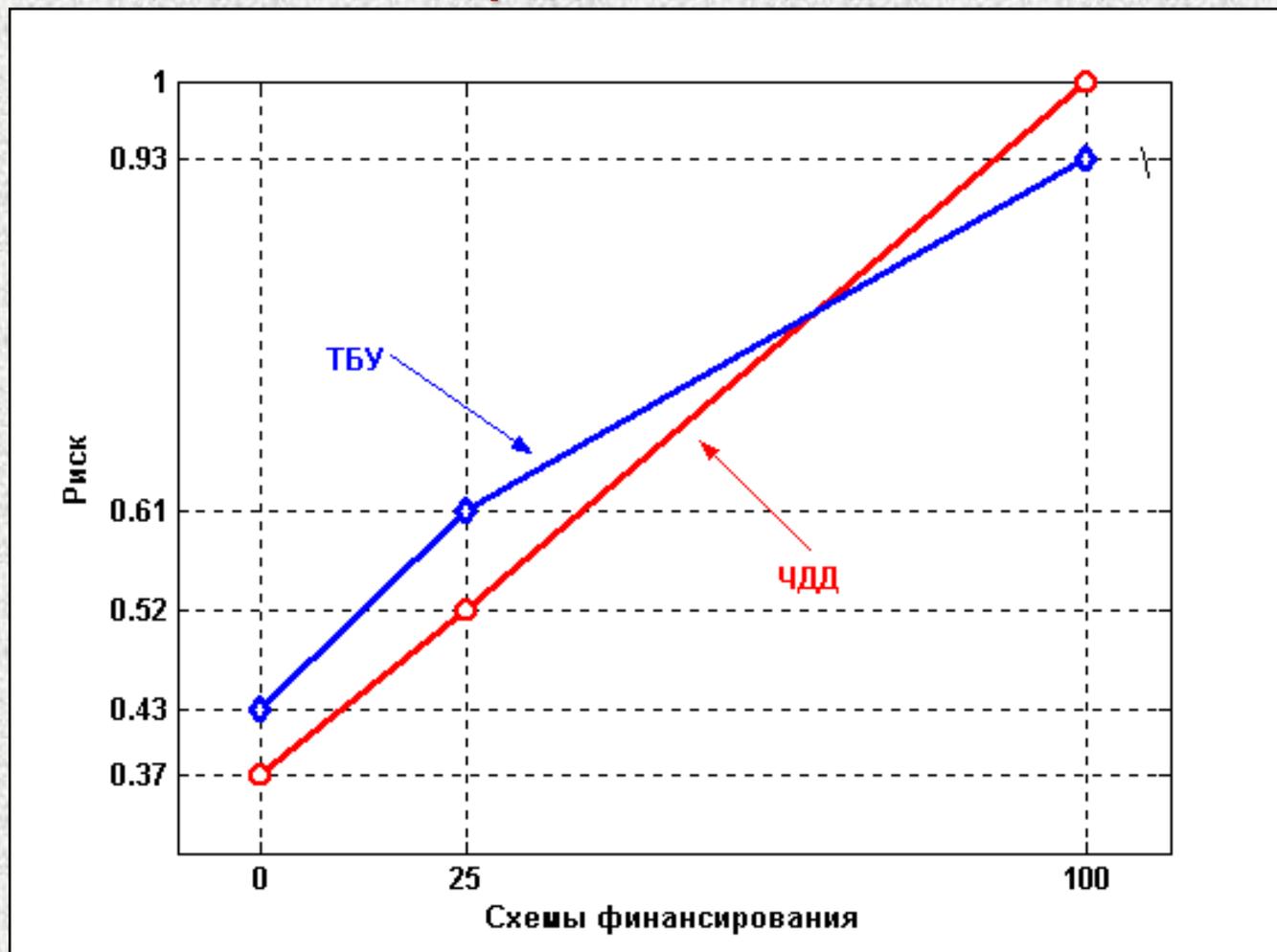
1.  $R=0$  при  $C < \text{ТБУ(оптим)}$ .
2.  $R=S_1/S$  при  $\text{ТБУ(оптим)} < C < \text{ТБУ(базов)}$ .
3.  $R=1 - S_2/S$  при  $\text{ТБУ(базов)} < C < \text{ТБУ(пессим)}$ .
4.  $R=1$  при  $C > \text{ТБУ(пессим)}$ .

## Кривые $R(C)$ для треугольного и равномерного распределения

- Выбор треугольного распределения дает завышенные оценки высоких рисков по сравнению с равномерным распределением.

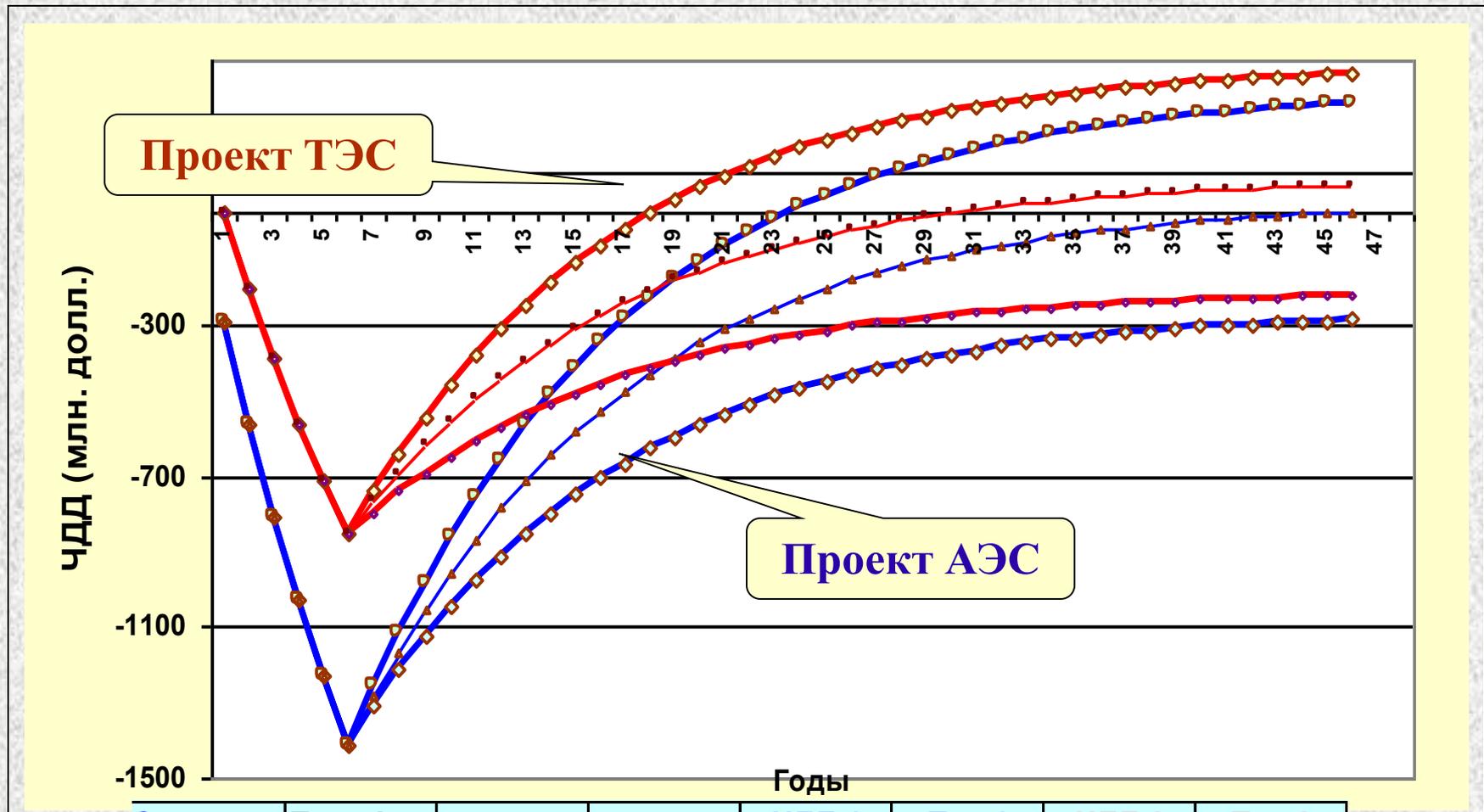


## Пример: Риск отрицательного результата при разных схемах кредитования



- При увеличении доли внешнего кредита (от 0% до 100%) имеет место существенное увеличение рисков отрицательного результата как по критерию ЧДД, так и по критерию ТБУ.

# Пример 2. Сравнение ИП АЭС и ТЭС при неопределенности условий реализации.



Сценарии	Тариф	Топливо-1	Топливо-2	ЧДД-1	Ток-1	ЧДД-2	Ток-2
Пессим.	3,0	18,0	76,0	-285,0	0	-222,2	0
Умерен.	3,5	15,0	72,0	1,1	46	71,5	31
Оптим.	4,0	12,0	68,0	287,2	24	365,1	19
				0,502	Р+	0,622	
				0,498	Р-	0,378	
				0,386	$\alpha$ (№2>№1)	0,614	

Риск для №1

Риск для №2

## Заключение

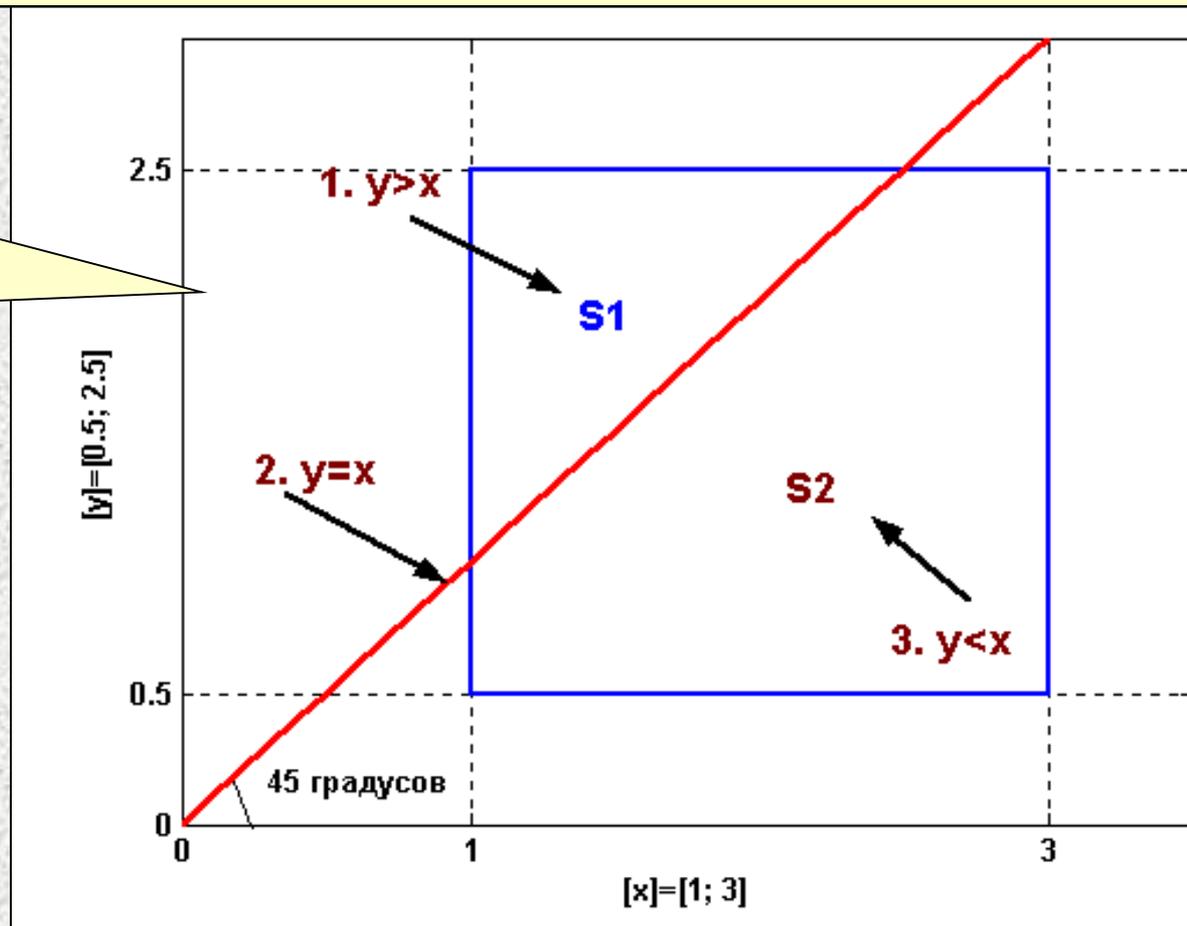
- 1.** В настоящее время сложилась новая парадигма неопределенных чисел (НЧ), которая включает вероятностную, нечеткую и интервальную модели их описания.
- 2.** Вероятностная модель описывает только случайную составляющую. Нечеткая и интервальная модели могут включать любую априорную информацию о неточности и неопределенности данных.
- 3.** Представленная интервально-вероятностная модель, реализованная в программе Интервал-Инвест, обеспечивает более совершенную концепцию оценки риска проектов ИПЭС, чем в «стандартном» сценарном анализе.

**Спасибо за внимание!**

# Интервальная модель: сравнение интервалов

Задача даны два интервала:  $[y]$  и  $[x]$  определить степень  $\alpha$  достоверности отношения  $[y]>[x]$ . Решение  $\alpha=S_1/(S_1+S_2)$ .

$\alpha$  - есть отношение площадей



Пример: даны два интервала:  $[y]=[0.5; 2.5]$  и  $[x]=[1; 3]$ ; определить степень  $\alpha$  достоверности отношения  $[y]>[x]$ .

Решение: Вычисляя соответствующие площади  $S_1$  и  $S_2$ , получаем  $[y]>[x]$  с достоверностью  $\alpha=0.28$ .

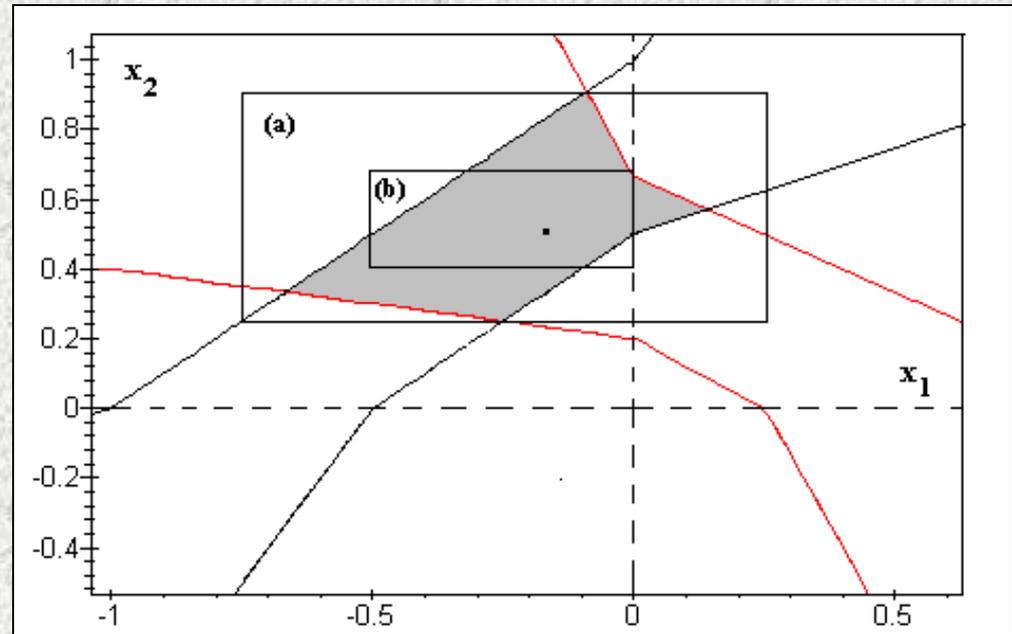
# Решение интервальных уравнений

Система интервальных уравнений:

$$[4, 8] \cdot x_1 + [6, 10] x_2 = [2, 4]$$

$$-[1, 2] x_1 + [1, 2] x_2 = 1.$$

Результат: Область решения.



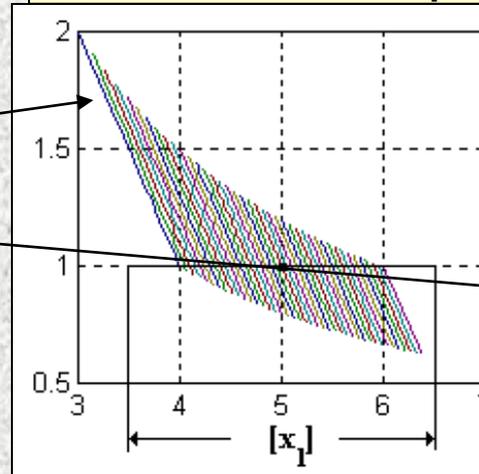
Нелинейное интервальное уравнение:

$$x^2 - [4; 8] \cdot x + [3; 7] = 0$$

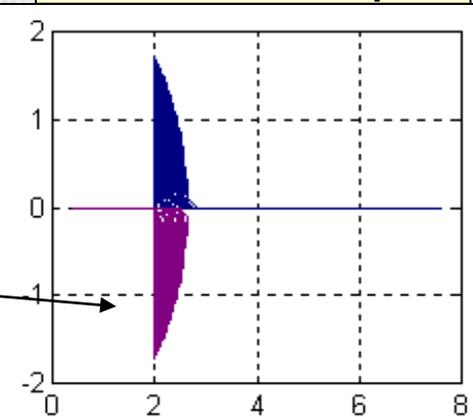
$$x^2 - [5; 7] \cdot x + [1, 2] = 0$$

Результат: Область решения

Действительные корни



Комплексные корни



Приложения: Определение экстремумов, оптимизация, устойчивость динамических систем и др.