



Девятая международная научно-техническая конференция

«Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики»

Москва, 21-23 мая 2014



КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ЯДЕРНУЮ ЭНЕРГЕТИКУ

Харитонов В.В., Курельчук У.Н., Боков А.

НИЯУ МИФИ, Москва

Молоканов Н.А..

ОАО «НИКИЭТ», Москва

vkharitonov@mephi.ru



О саморазвитии

Может ли стать ядерная энергетика «рентабельным саморазвивающимся бизнесом»?

Под **саморазвитием** ядерной энергетике (как и любой другой энерготехнологии) мы понимаем такую «настройку» ее технологий и экономики, при которой реализуется устойчивый (экспоненциальный) рост числа действующих реакторов АЭС в целях обеспечения народного хозяйства **заданным темпом** производства электроэнергии **без привлечения иных финансовых ресурсов, кроме доходов от деятельности самой ядерной отрасли.**



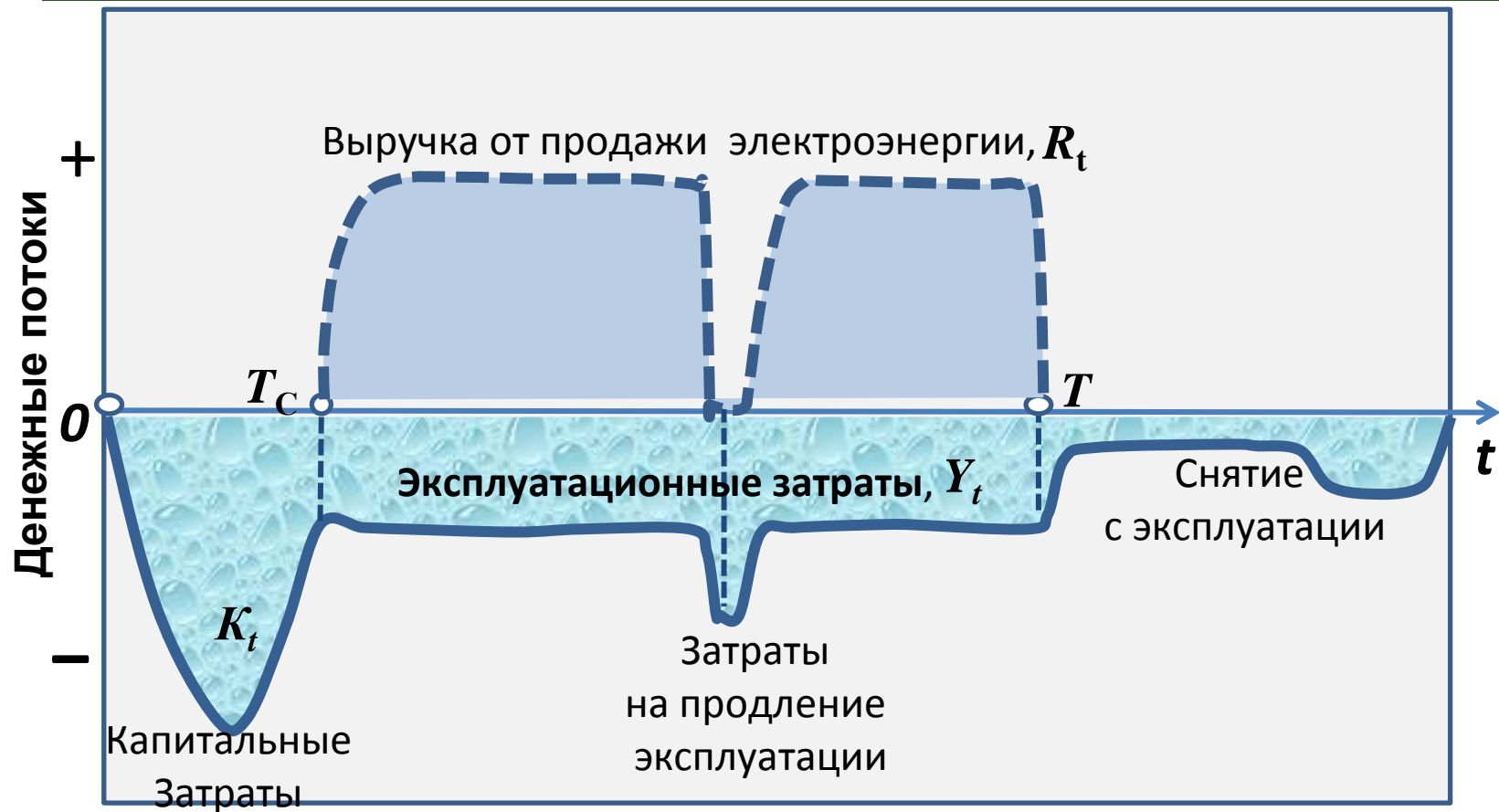
Критерии эффективности ИНВЕСТИЦИЙ

Критерии прибыльности и экономической приемлемости

- 1) Чистый дисконтированный доход (ЧДД, или в оригинале *Net Present Value - NPV*),
- 2) Внутренняя норма доходности (ВНД, или *Internal Rate of Return - IRR*),
- 3) Дисконтированный период окупаемости (*Discounted Payback Period - DPB*),
- 4) Приведенная стоимость электроэнергии (*Levelized Discounted Electricity Generation Costs - LDEGC*) - C_{lev}



Схема денежных потоков за время жизненного цикла АЭС



Ограничения на критерии эффективности инвестиций

$$NPV = \int_{t=0}^T (R_t - C_t) e^{-pt} dt \geq 0.$$

R_t (руб/год) – доходы в году t

$$\int_{t=0}^T (R_t - C_t) e^{-IRR \cdot t} dt = 0; \quad b \leq p \leq IRR.$$

C_t (руб/год) – расходы в году t

p – ставка дисконтирования

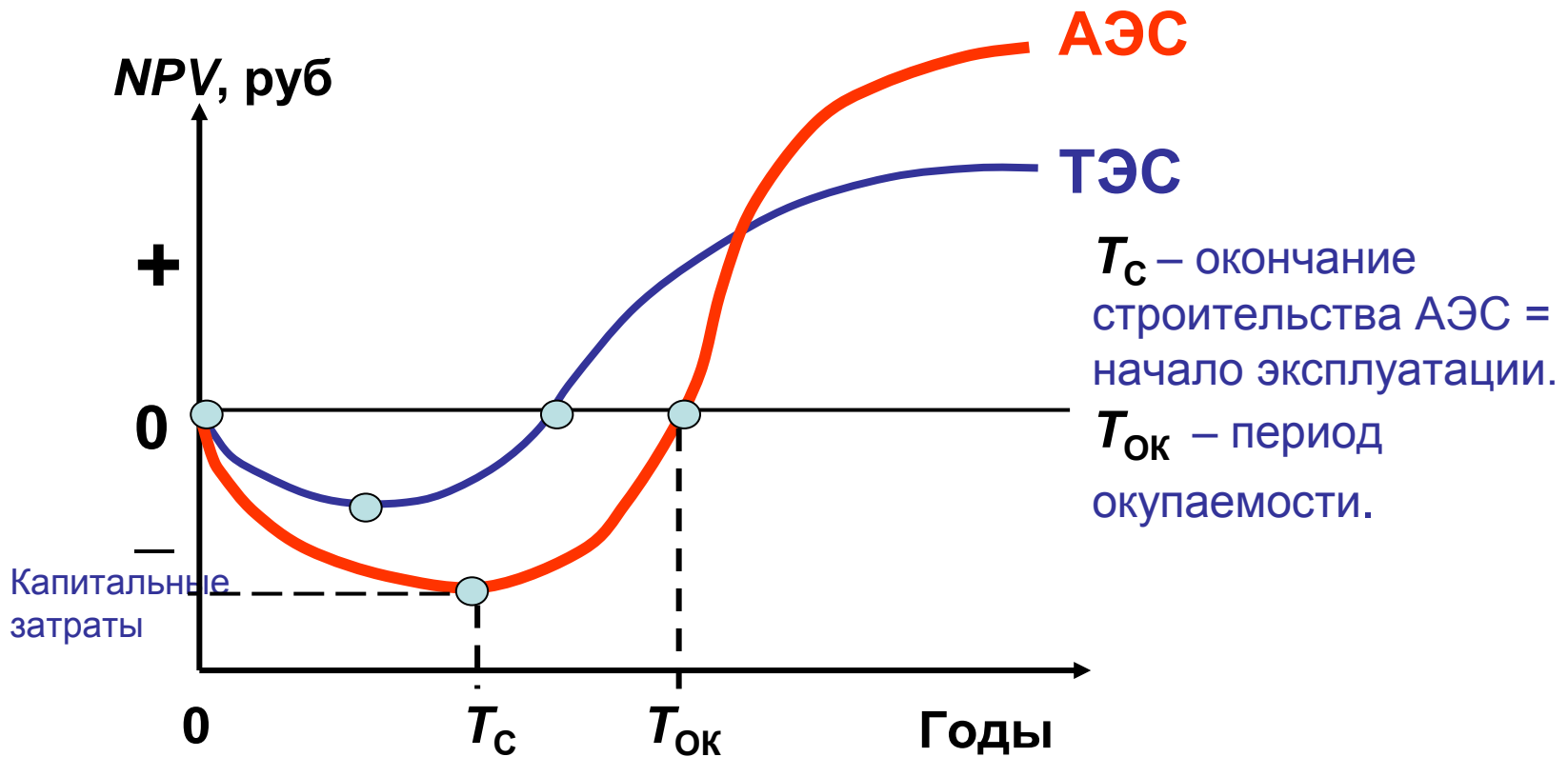
$$\int_{t=0}^{T_{OK}} (R_t - C_t) e^{-pt} dt = 0; \quad T_{OK} \leq T_{\exists}.$$

b - банковский процент

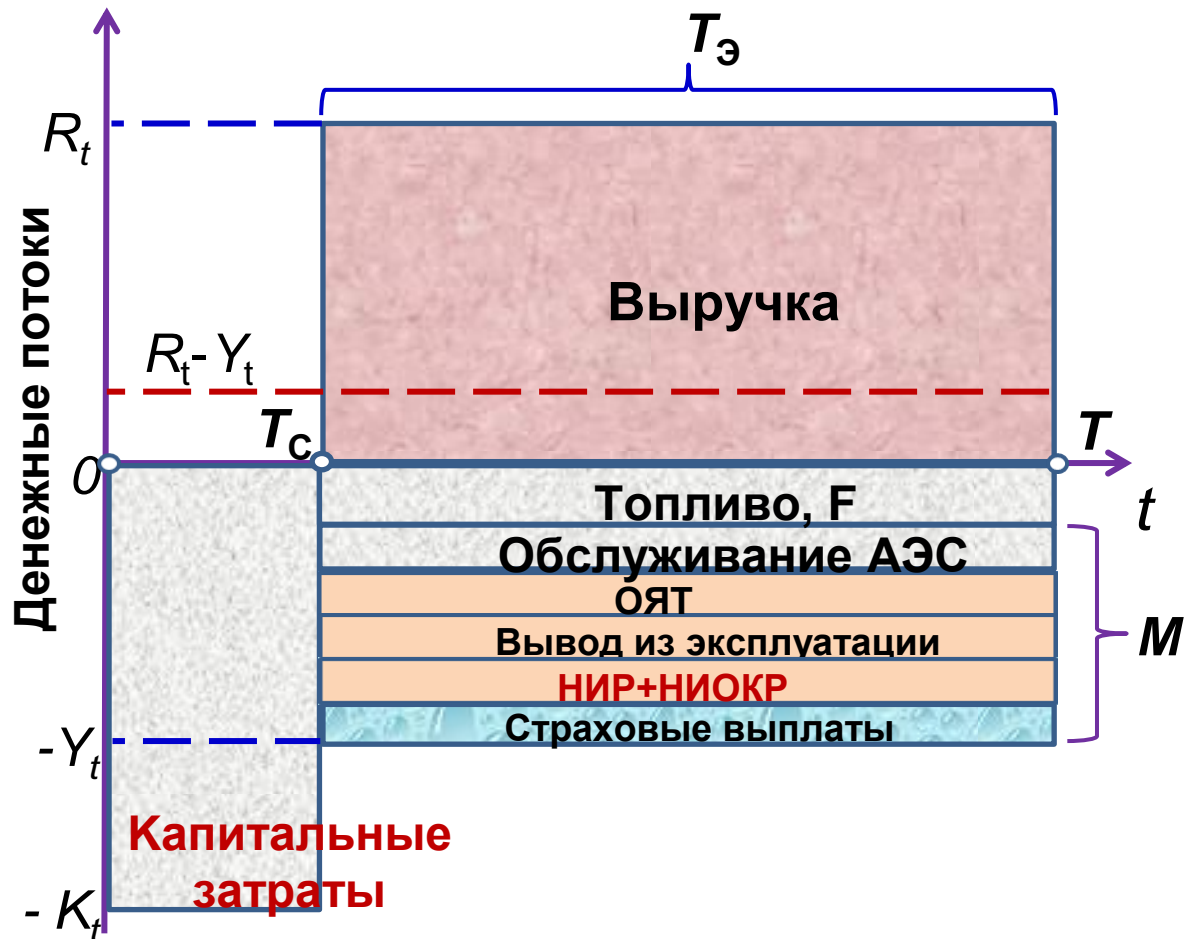
$$C_{lev} = \frac{\int_{t=0}^T C_t e^{-pt} dt}{\int_{t=T_C}^T E_t e^{-pt} dt} \leq \text{тариф в стране на электроэнергию}$$



Динамика NPV



Базовый вариант: постоянные доходы и расходы



Приближение «быстро строим и долго эксплуатируем» ($pTC \ll 1$ и $pTЭ \gg 1$)

$$NPV \approx \frac{R}{p} - \left(K + \frac{Y}{p} \right) = -K + \frac{R - Y}{p},$$

$$IRR \leq \frac{R - Y}{K}.$$

$$\frac{NPV}{K} = \frac{IRR}{p} - 1.$$

$$T_{OK} \approx \frac{1}{p} \ln \left(\frac{IRR}{IRR - p} \right) \approx \frac{1}{IRR}.$$

$$C_{lev} = \frac{p_{ЭФ} K + Y}{E} \geq \frac{pK + F + M}{E}.$$

$Y = F + M$ – годовые расходы на топливо (*Fuel*) и обслуживание (*Maintenance*);

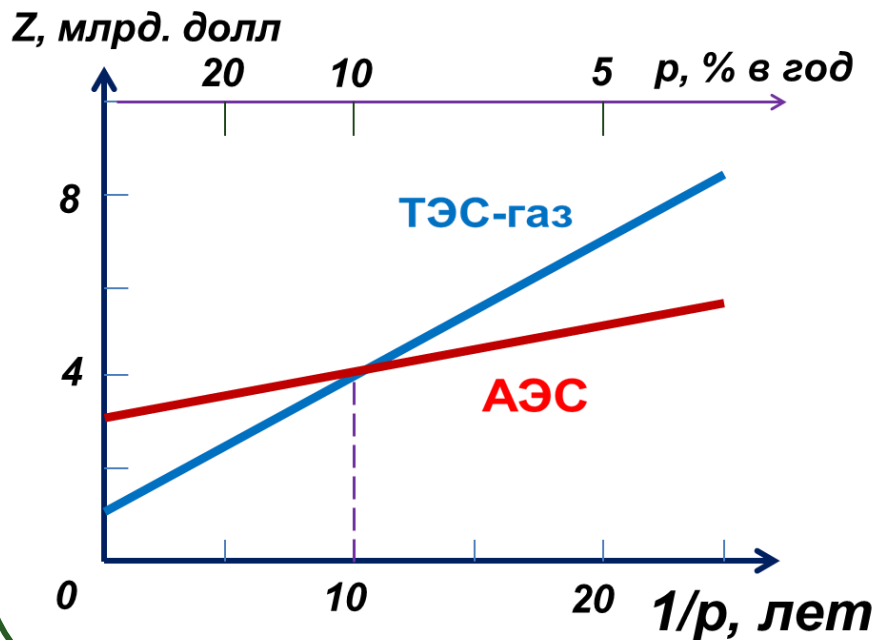
$R = E \cdot Ц$ – годовая выручка электростанции (руб/год) от продажи электроэнергии по цене $Ц$ (руб/кВт·ч);

$E = W \cdot \Delta t \cdot КИУМ$ – годовое производство электроэнергии (кВт·час)



Приведенные затраты АЭС

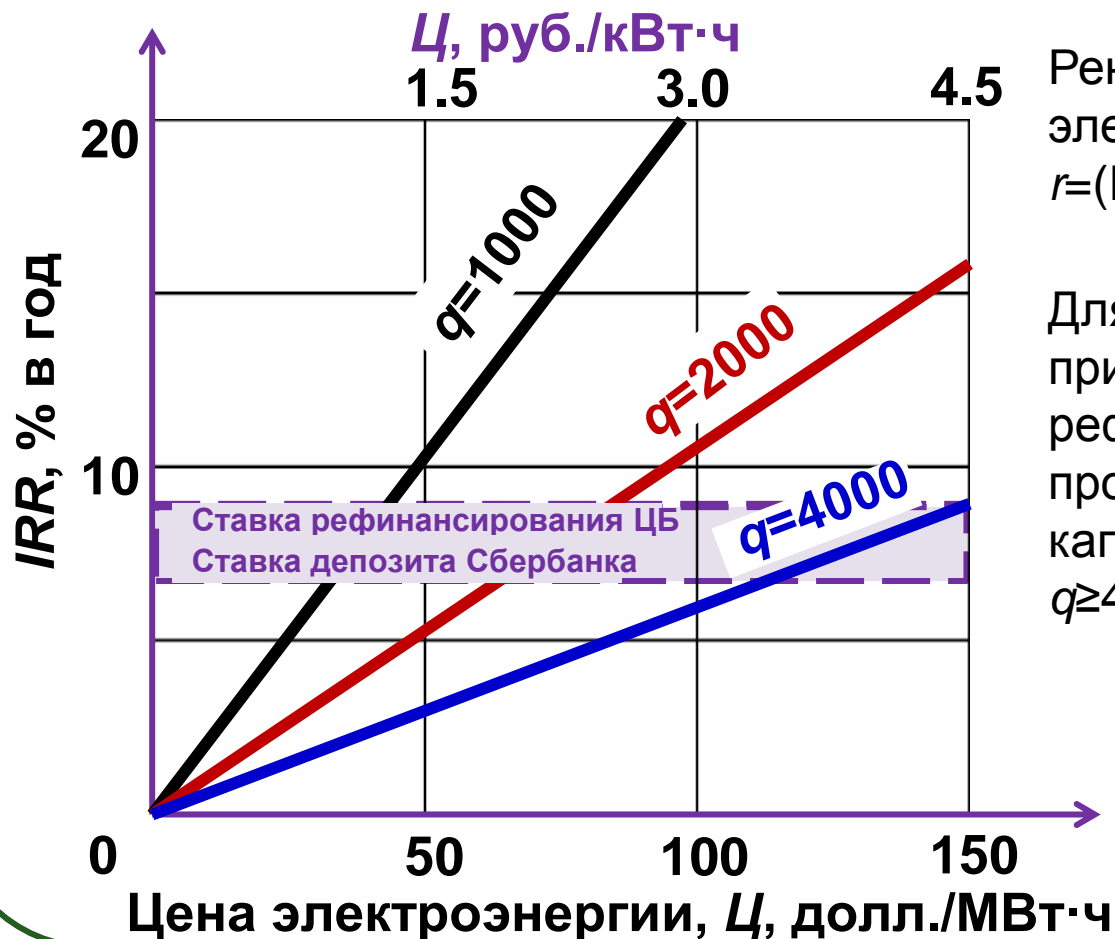
$$Z = \int_{t=0}^T C_t e^{-pt} dt \geq K + \frac{Y}{p} = K + \frac{F + M}{p}.$$



Чем меньше ставка дисконтирования p , тем меньше вклад капитальных затрат в приведенные затраты. В пределе $p \rightarrow 0$ приведенные затраты определяются преимущественно эксплуатационными затратами, включающими топливную составляющую электростанций, которая для ТЭС примерно вдвое-втрое выше, чем для АЭС. **Поскольку АЭС отличаются высокими капитальными затратами, то преимущество АЭС на конкурентном рынке энерготехнологий реализуется при низких ставках дисконтирования.**



Внутренняя норма доходности IRR, удельные капитальные затраты $q=K/W$ и цена электроэнергии ζ

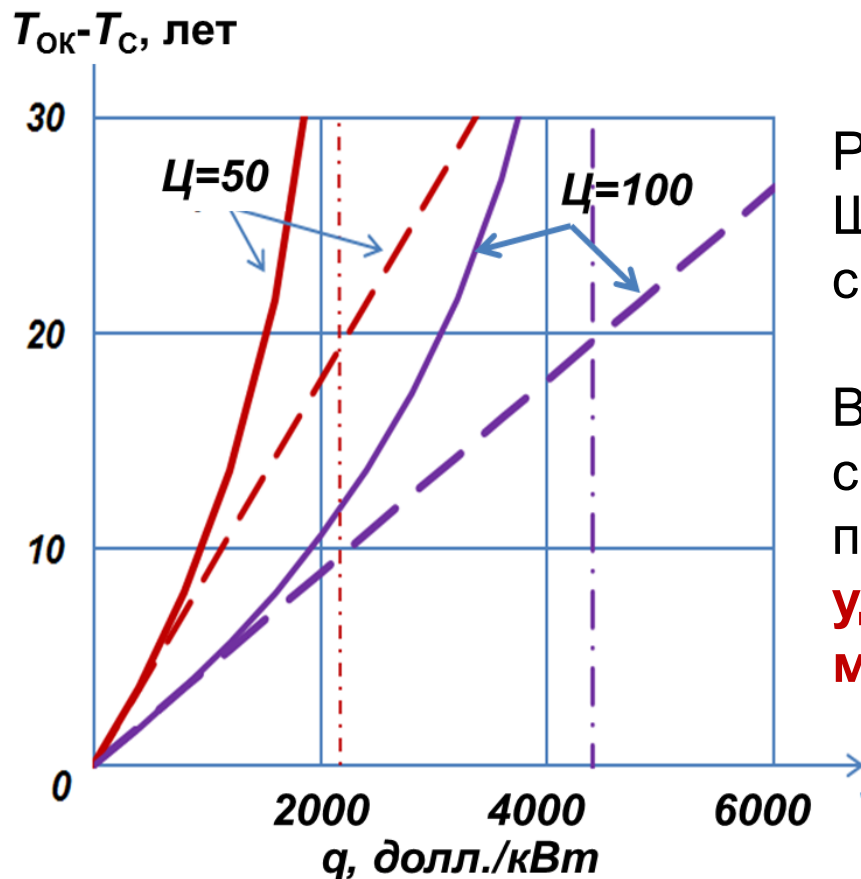


Рентабельность продаж
электроэнергии
 $r=(R-Y)/R=30\%$ и $КИУМ=80\%$.

Для российских условий с
приведенными ставками
рефинансирования и депозита
проекты АЭС с удельными
капитальными затратами
 $q \geq 4000$ долл./кВт убыточны



Срок окупаемости проекта АЭС , удельные капитальные затраты q и цена электроэнергии C (долл./МВт·ч)

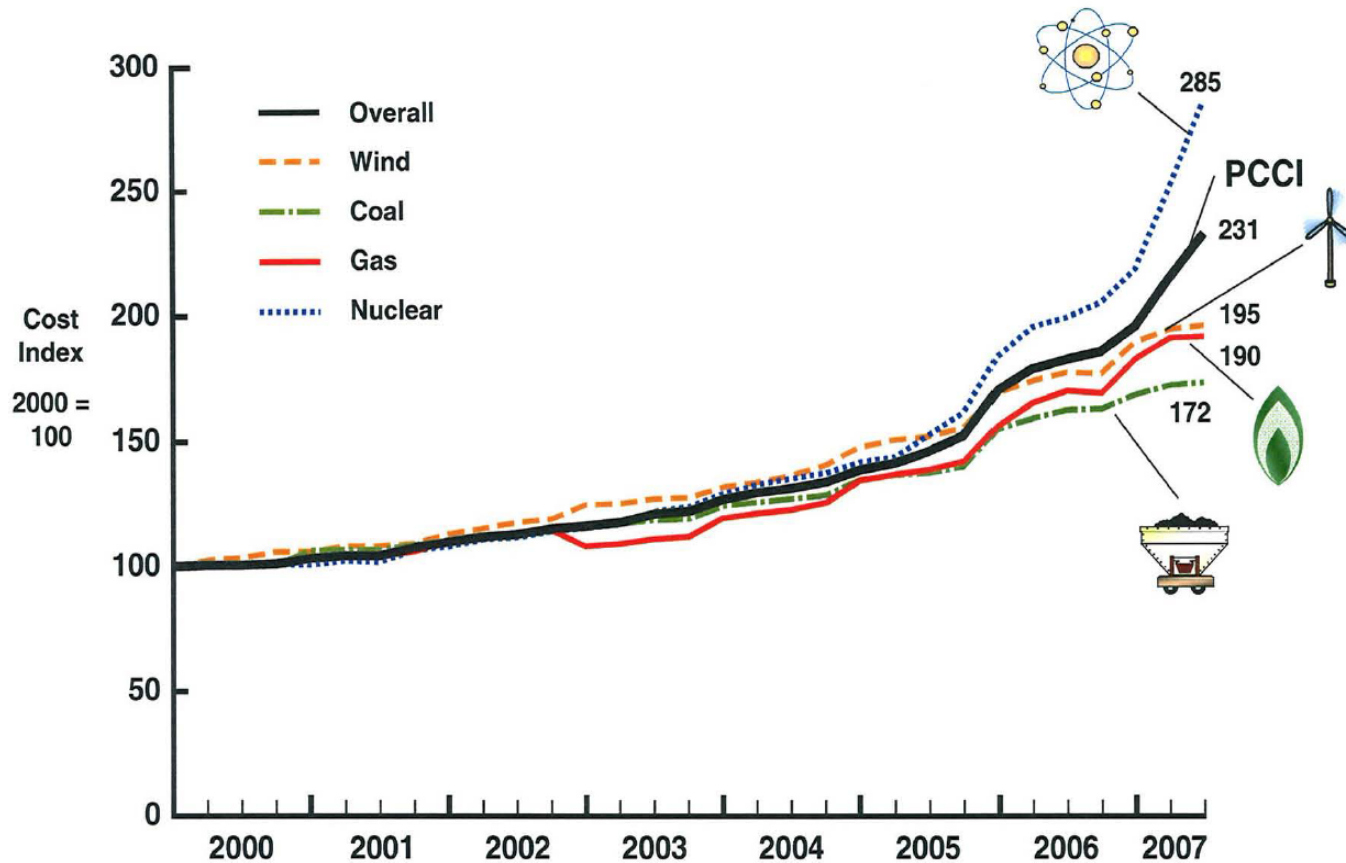


Рентабельность продаж $r=20\%$.
Штриховые линии для $p=0$,
сплошные линии - $p=5\%/год$.

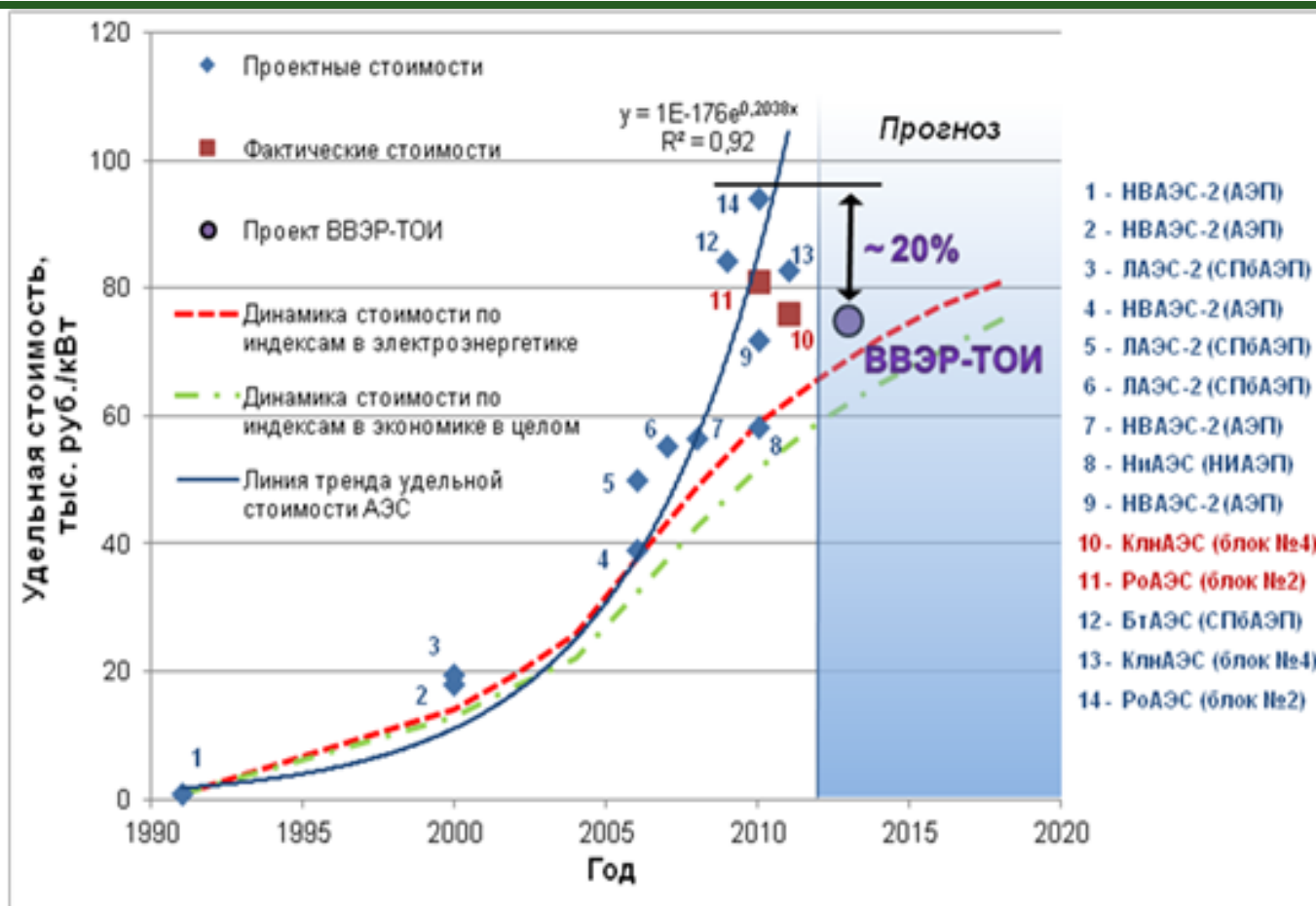
В диапазоне цен 50-100 долл./МВт·ч
срок окупаемости **менее 20 лет**
после пуска АЭС, если
удельные капитальные затраты
менее 3000 долл./кВт



Динамика роста капитальных затрат



Динамика удельных капитальных затрат строительства АЭС в России



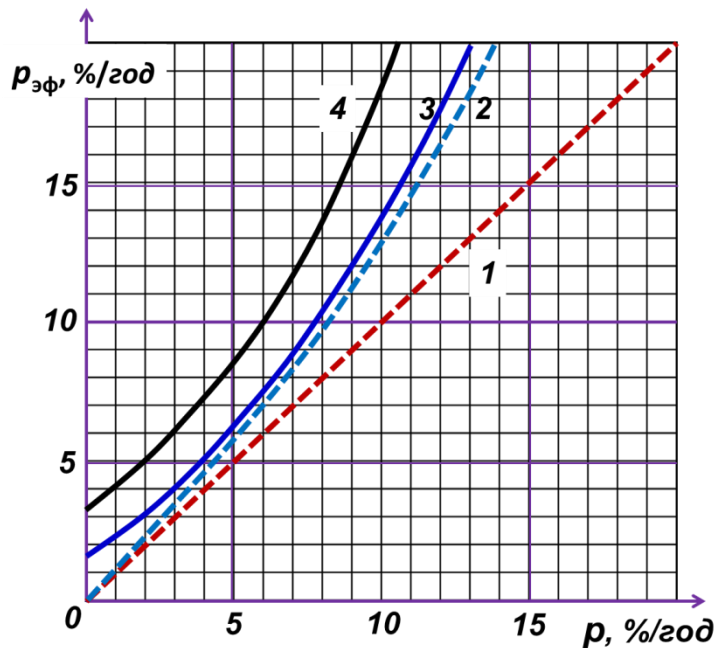
Дисконтированная (приведенная) стоимость электроэнергии

$$C_{lev} = \frac{p_{эф} K + F + M}{E} \geq \frac{pK + F + M}{E},$$

Три составляющих:

- Капитальная (амортизационная),
- Топливная,
- Эксплуатационная (обслуживание).

В обслуживание (M/E) включают инновационную составляющую (НИР+НИОКР), отчисления в фонды ОЯТ, снятия с эксплуатации, страхования.



При высоких ставках дисконтирования вклад капитальной составляющей себестоимости велик, что может привести к ухудшению конкурентоспособности АЭС, капитальные затраты которых в 2-3 раза больше, а эксплуатационные издержки приблизительно в 2-3 раза меньше по сравнению с ТЭС.

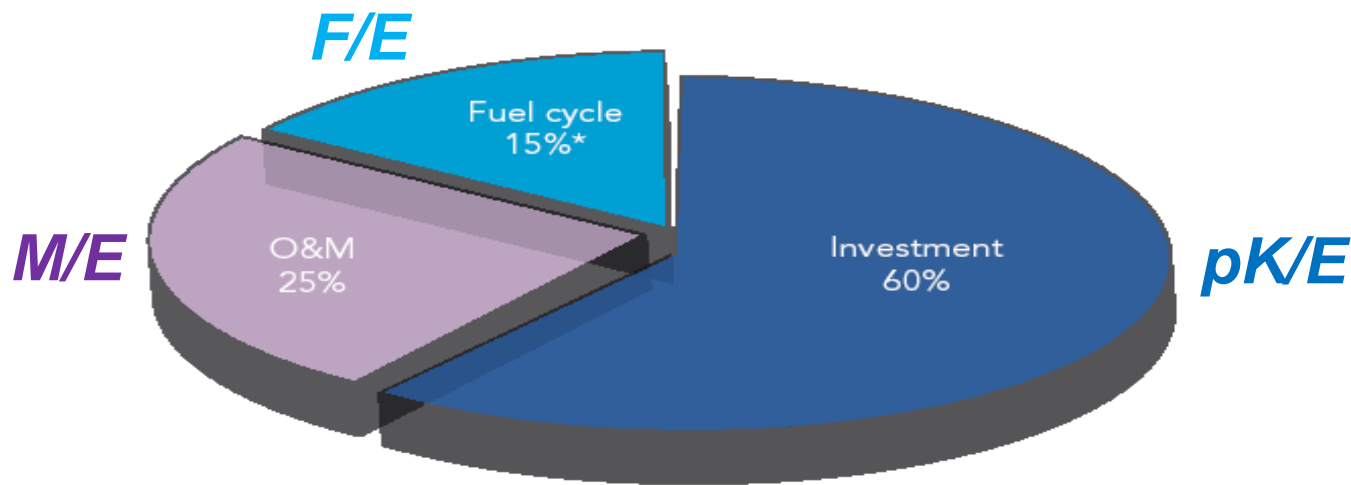
В США в период кризиса (с 16.12.2008 по настоящее время) ставка рефинансирования ФРС, фактически лимитирующая банковский процент и ставку дисконтирования, снижена до 0,25 %/год, что делает выгодным инвестиции в долгосрочные капиталоемкие проекты.

В России ставка рефинансирования ЦБ в тот же период варьировалась в диапазоне 13-8 %/год, что существенно затрудняет промышленное и инновационное развитие.



Структура стоимости электроэнергии, вырабатываемой на АЭС с реактором PWR

Figure 6.1: Cost structure of nuclear electricity generation

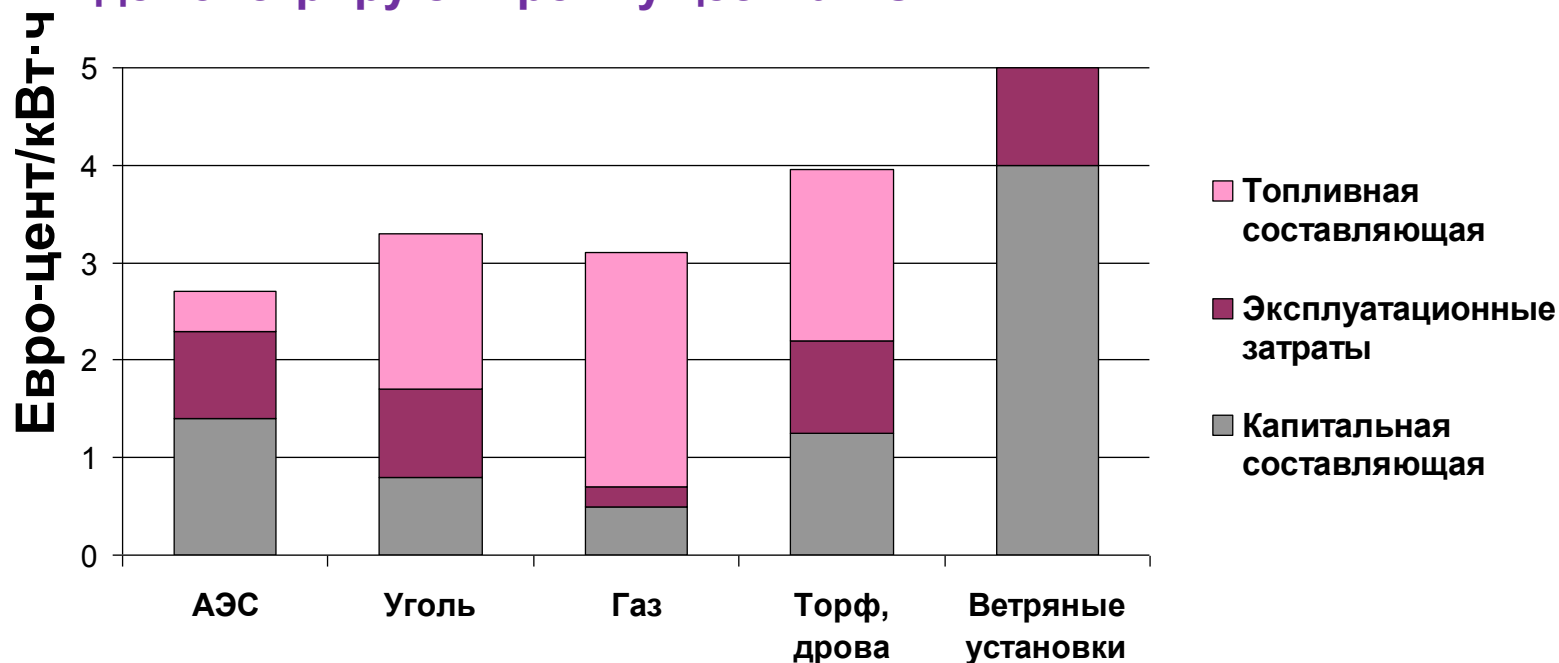


* The cost of natural uranium typically represents only 5%.
Source: NEA and IEA (2005).

- Сокращение себестоимости любого продукта позволяет:
- 1) При той же рыночной цене увеличить прибыль фирмы,
 - 2) При сокращении цены увеличить объем продаж и прибыль.

Структура цены на электроэнергию

Сравнительные оценки стоимости производства электроэнергии и их зависимость от цен на топливо демонстрируют преимущества АЭС



«Статичность» критериев эффективности инвестиций

Критерии UNIDO (NPV , IRR , $T_{ок}$) отражают интерес инвестора, направленный на достижение максимальной прибыли в наиболее короткие сроки.

Критерий МАГАТЭ C_{lev} оценивает общественную эффективность проекта, так как ориентирован на потребителя, заинтересованного в снижении тарифа на электроэнергию.

Обе методики UNIDO и МАГАТЭ можно назвать «статическими», так как они оценивают экономическую эффективность инвестиционных проектов без учета использования получаемой прибыли, то есть не отвечают на вопрос: какова эффективность использования прибыли инвестиционного проекта?



Условие саморазвития ядерной отрасли

Динамика развития ядерной энергетики в «релаксационном приближении» с учетом скорости **ввода новых** реакторов и **вывода из эксплуатации** старых реакторов :

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N - \frac{N}{T_{\text{э}}} = kN.$$

$k = \lambda - 1/T_{\text{э}}$ – темп развития ядерной энергетики (ежегодное относительное увеличение числа действующих блоков).

Условие саморазвития отрасли за счет чистой прибыли (Π , руб/год)

$$\Pi \cdot N \geq K\lambda N + K_{\text{сэ}} \frac{N}{T_{\text{э}}} \quad \text{или} \quad \frac{\Pi}{K} \geq \lambda + \frac{K_{\text{сэ}}}{KT_{\text{э}}}.$$

Чистая ежегодная прибыль Π от работы N реакторов должна превышать сумму ежегодных капитальных затрат на ввод новых блоков K и вывод старых $K_{\text{сэ}}$.

Дорожная карта ядерной энергетики России до 2020 года

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N - \frac{N}{T_{\text{э}}} = kN, \quad k = \lambda - \frac{1}{T_{\text{э}}}$$

Если задан темп $k=4\%$ в год, то при $T_{\text{э}}=50$ лет, которому соответствует темп их вывода $1/T_{\text{э}}=2\%$ в год, темп ввода новых ядерных мощностей должен быть $\lambda=6\%$ в год.

При нынешнем количестве реакторов в России $N=33$ скорость ввода новых блоков должна быть в среднем $\lambda N \approx 2$ блока в год, а скорость снятия с эксплуатации в среднем $N/T_{\text{э}} \approx 0,64$ блока в год или один блок за каждые 19 месяцев.

К 2020 г. ввести 52-58 ГВт



Новый критерий экономической динамики отрасли

Отношение годовой прибыли к капитальным затратам (1/год или %/год)

P/K

имеет смысл **критерия динамической эффективности (или темпа) экономического развития отрасли.**

Так при $T_{\text{э}}=50$ лет, $\lambda=6$ %/год и при затратах на снятие с эксплуатации старых реакторов **втрое меньших капитальных затрат на строительство новых** ($K_{\text{сэ}}/K=1/3$) находим необходимый темп экономического развития отрасли

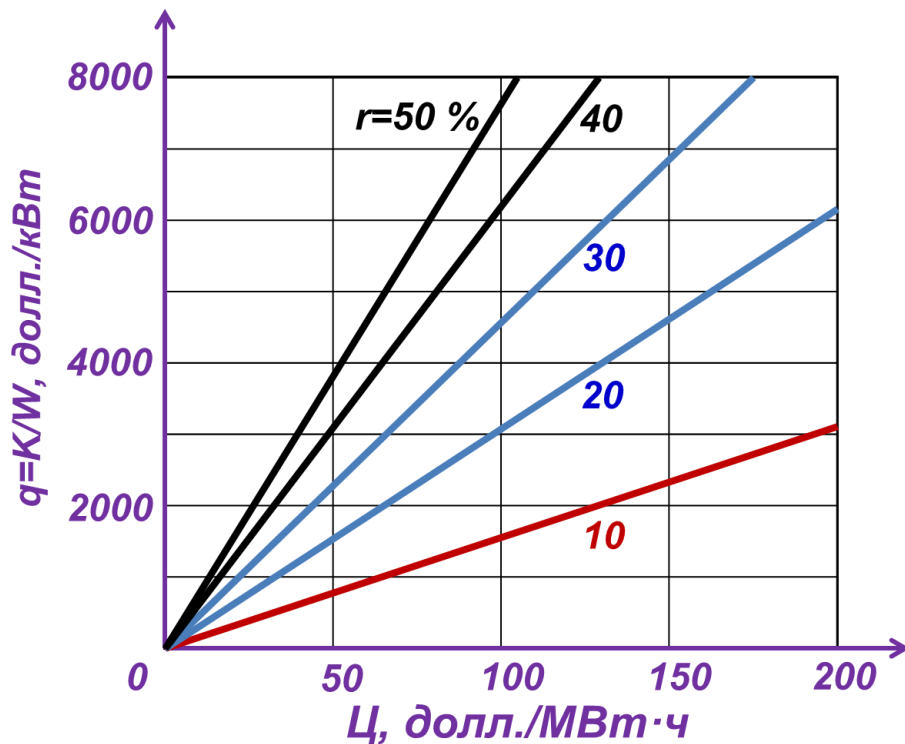
$P/K \geq 7$ %/год,

что представляется трудно достижимым. При $K=100$ млрд руб нужно иметь годовую чистую прибыль $P > 7$ млрд.руб/год с каждого блока АЭС.

Остается один путь – кардинально снижать капитальные затраты и эксплуатационные издержки (в 2-3 раза). Такой путь возможен только при одном условии – форсированном развитии эффективных НИОКР и их скорейшем внедрении в промышленное производство для обеспечения конкурентоспособности саморазвивающейся ядерной энергетики.



Верхний предел удельных капитальных затрат на блок (долл./кВт) для периода удвоения ядерных мощностей $T_2=15$ лет.



$$(P/K) \cdot T_2 \geq 0,69$$

При $q \geq 3000$ долл./кВт
и $C \leq 100$ долл./МВт·ч
необходимо работать с
рентабельностью продаж
более 20%.



Заключение-1

1. В работе впервые получена взаимосвязь критериев эффективности инвестиций в энергетические проекты (NPV, IRR, Tok, Clev) с основными инженерно-экономическими параметрами энергоустановок.

Все приведенные здесь результаты получены путем строгих выводов из фундаментальных положений инвестиционной экономики **без привнесения каких-либо волюнтаристских искусственных гипотез.**

2. Эти критерии использованы для оценки инженерно-экономических параметров ядерных реакторов, **удовлетворяющих требованию «саморазвития ядерной энергетики»**, то есть ее устойчивого развития для обеспечения заданного темпа роста производства электроэнергии **без привлечения иных финансовых ресурсов, кроме доходов от деятельности самой ядерной отрасли.**



Заключение-2

3. В интересах как инвестора так и потребителя **снижать затраты проекта** (производства). Тем не менее затраты на строительство и эксплуатацию электростанций эволюционируют в сторону увеличения, причем в несколько раз за последние 10-15 лет.

По нашему мнению, причина этого роста затрат **обусловлена не только ростом цен на материалы и затратами на обеспечение безопасности, но и интересами исполнителя проекта**, естественно заинтересованного в доходах, которые одновременно являются затратами для инвестора и потребителя.

Из всех участников рынка – инвестора, потребителя и исполнителя - **наиболее квалифицированным в энерготехнологии является исполнитель**, который зачастую и диктует величину затрат на ее развитие.

Поэтому **важно знать макроэкономические ограничения** на инженерно-экономические и инвестиционные параметры энергетических установок и их топливных циклов, приемлемых с точки зрения эффективного саморазвития энергетического бизнеса.

Заключение-3

4. Предложена новая динамическая модель развития отрасли в «релаксационном приближении», которая позволила сформулировать **новый критерий в виде отношения чистой годовой прибыли к величине капиталовложений в новые блоки АЭС: P/K (год⁻¹ или %/год)**, которое имеет смысл **темпа экономического саморазвития отрасли**.

Условие саморазвития выполняется, когда отношение ежегодной прибыли к капитальным затратам на новый блок АЭС превышает заданный (директивный и т.п.) темп развития, то есть при $P/K \geq 0,69/T_2$, где T_2 – заданный (директивный и т.п.) период удвоения ядерных мощностей.

Заключение-4

5. В целях обеспечения саморазвития и конкурентоспособности ядерной энергетики **необходимо**:

для новых ядерных энерготехнологий, включая **реакторы на быстрых нейтронах с замкнутым ядерным топливным циклом, обосновать и обеспечить снижение капитальных и эксплуатационных затрат примерно в 2 раза по сравнению с ныне действующими без потери безопасности.**

В этом случае ядерная энергетика получит **бесспорное преимущество** в стратегии развития энергетики.





Спасибо за внимание!

Солнечная батарея
Ноутбук
Навигатор...



Дорогу осилит идущий