



Ядерна енергія: міф і реальність
№ 5, грудень 2005р. Українська версія

Економіка ядерної енергетики

Проблеми ядерної енергії, тематичне дослідження No. 5
АВТОР СТВІВ ТОМАС

З М І С Т

Вступ.....	4
1. Світовий ринок атомних станцій: існуючі замовлення і перспективи.	5
2. Сучасні конструкції	12
3. Ключові детермінанти ядерної економіки.....	17
4. Останні дослідження вартості атомної енергетики і чому вони відрізняються	27
5. Потреба в державних субсидіях і їх розмір	32
6. Висновки	32
Додаток 1: Дисконтування, вартість капіталу і необхідна окупність.....	38
Додаток 2: Технології ядерних реакторів	40
Додаток 3: Виробники ядерних реакторів.....	42
Додаток 4: Виведення атомних станцій з експлуатації.....	44

Фонд Генріха Бьолля (Heinrich Böll Stiftung)

Про автора

Стів Томас - старший науковий співробітник Міжнародного дослідницького центру з питань громадських послуг у Грінвічському університеті (Лондон), де він проводить дослідження з енергетичних питань. Має ступінь бакалавра з хімії (Брістоль), працює як незалежний дослідник питань енергетичної політики більш ніж 20 років. У 1979-2000рр. він був співробітником Програми з енергетичної політики в Сассекському університеті, а в 2001р. провів 10 місяців як гість-дослідник Програми енергетичного планування в Федеральному університеті в Ріо де Жанейро. Він член редколегії видань „Енергетична політика” (Energy Policy) з 2000р., „Міжнародного журналу з питань регулювання і управління” (International Journal of Regulation and Governance) з 2001р., „Енергія і довкілля” (Energy and Environment) з 2002р. і „Стратегія підприємств” (Utilities Policy) з 2003р., і є членом-засновником мережі науковців Північноєвропейських країн (група REFORM), яка вивчає стратегічні аспекти лібералізації енергетичних систем. Він був членом групи, призначеної Європейським банком реконструкції і розвитку (ЄБРР) для проведення офіційного вивчення економічних характеристик проекту по заміщенню Чорнобильської атомної електростанції (1997). Стів Томас був також членом міжнародної групи, призначеної (2001-02) Департаментом Мінералів і енергії Південно-Африканської Республіки для вивчення технічних перспектив нового типу атомного енергетичного реактора, а саме, модульного реактора із засипкою з кульових ТВЕЛів.

Тематичне дослідження, No. 5:
Економіка ядерної енергетики
Стів Томас

© Фонд Генріха Бьоля 2005.

Всі права застережені.
Спільна публікація з WISE (Світова інформаційна служба з питань енергії - *прим. перекл.*)

Ця публікація не обов'язково відображає погляди Фондації Генріха Бьоля (Heinrich Böll Foundation).

Вступ

Серйозний виклик, яким є потреба зменшення викидів парникових газів, особливо в секторі виробництва електроенергії, призвів до пошуків зацікавленості у спорудженні нових атомних електростанцій. Такі станції спочатку замінили б старіючий парк існуючих реакторів, потім задовольнили б зростаючий попит на електроенергію, і в кінці кінців замінили б деякі електростанції, які працюють на викопному паливі. В більш далекій перспективі обіцяється, що нове покоління атомних електростанцій можна буде використати для виробництва водню, який міг би замінити вуглеводні, що використовуються в автомобілях.

Схоже на те, що громадськість з цілком зрозумілих причин має сумніви, чи насправді атомна енергетика є дешевим джерелом електроенергії. Протягом останніх років з'явилася велика кількість авторитетних досліджень, які показують ядерну економіку у вигідному світлі, а більшість генеруючих компаній, здається, однозначно планують працювати на своїх існуючих атомних електростанціях максимально довго. Однак також очевидно, що генеруючі компанії утримуються від будівництва нових атомних електростанцій без гарантій щодо затрат і ринків, а також без субсидій. Частково цей очевидний парадокс легко пояснюється різницею між затратами лише на підтримку виробництва енергії на атомних електростанціях, які звичайно розглядаються як порівняно низькі, та загальними витратами на ядерну енергетику - включаючи повернення затрат на будівництво, - які є істотно вищими. Таким чином, якщо атомна електростанція вже побудована, економічно доцільно тримати її в експлуатації, навіть за умови, що загальні видатки на виробництво електроенергії, включно із затратами на будівництво, вищі, ніж інші альтернативи. Затрати на будівництво станції є "втраченими" коштами, які не можна повернути, а додаткові витрати на генерацію додаткової кіловат-години (кВт) можуть бути малими. Однак, більшу частину розходжень між економікою існуючих станцій і прогнозами щодо майбутніх станцій можна пояснити лише детальним аналізом різних припущень щодо, наприклад, ефективності використання та поточних затрат, які не впливають з очевидністю з заявлених в заголовках цифр. Метою цього розділу є з'ясування ключових економічних параметрів і тих факторів, які їх визначають, а також розгляд припущень, на основі яких були зроблені основні прогнози протягом останніх п'яти років - для того, щоб встановити, як і чому ці прогнози відрізняються. Це також дозволить визначити, які гарантії і субсидії уряду, можливо, доведеться надати для того, щоб з'явилися замовлення на будівництво нових станцій.

1. Світовий ринок атомних станцій: існуючі замовлення і перспективи

В останні роки жваво обговорювалося очевидне відновлення в міжнародному масштабі замовлень на атомні станції, особливо в країнах Тихоокеанського кільця. Список замовлених станцій (див. Табл.2) показує, що це відновлення явно перебільшують. У жовтні 2002р. у всьому світі будувалися 22 станції загальною потужністю 17 ГВт (ГВт), порівняно з 441 станцією, які зараз експлуатуються, загальною потужністю 368ГВт (див. табл.1). З тих блоків, які зараз споруджуються, 16 використовують індійську, російську або китайську технології - конструкції, які навряд чи будуть розглядатися на Заході. Для 6 станцій, будівництво яких розпочалося до 1990р., існують серйозні сумніви щодо того, чи буде будівництво закінчене взагалі. На додачу, для блоків, які споруджуються на Тайвані, замовлених у 1996р. з планованим закінченням у 2004р., термін завершення вже продовжений на шість років. Західні постачальники, які працюють в Європі - Westinghouse (Westinghouse) і Арева (Арева) - на двох мають лише одне замовлення: Арева виконує роботи на Олкілуото¹ для Фінляндії.

Китай часто згадують в якості потенційного замовника великої кількості атомних станцій. Він прогнозував будівництво додаткових 30 блоків до 2020р. Протягом більш ніж двадцяти п'яти років Китай передбачав розміщення все нових і нових реакторів, але замовив протягом цього часу лише 11 блоків, 3 з яких були малими станціями, споруджуваними місцевими силами. Найбільш імовірно, що Китай, в цілях обережного використання обмежених капітальних ресурсів, буде і далі розміщувати невелику кількість замовлень на міжнародному ринку (набагато менше, ніж прогнозує китайський уряд чи атомна промисловість), намагаючись в той же час нарощувати потужності на основі власного виробництва в атомній енергетиці.

Індія замовила станції у західних виробників в 1960р., але випробування в 1975р. ядерної зброї, створеної з матеріалів, вироблених на канадському дослідницькому реакторі, призвело до розриву всіх контактів із західними постачальниками. Індія продовжує будувати реактори, використовуючи канадський проект 1960-х років. Ці станції відомі як не дуже надійні, і часто їх будівництво займає набагато більше часу, ніж заплановано, через це на дати завершення в таблиці 2 треба дивитися скептично. Сполучені Штати також припинили співробітництво в 1998р. після ще одного випробування зброї, але у 2005р. Індія і Сполучені Штати вели переговори щодо угоди про технологічну співпрацю у сфері цивільної атомної енергетики. Канада також відновила постачання ядерних матеріалів у 2005р. Залишається невідомим, коли з'являться (і чи з'являться взагалі) нові замовлення від західних постачальників.

¹ Olkiluoto

Таблиця 1. Встановлена потужність діючих атомних електростанцій та тих, що будуються

Країна	Діючі станції: потужність, МВт (кількість блоків)	Станції, що будуються: потужність, МВт (кількість блоків)	% вироблення атомної електро- енергії. (2004)	Технології	Виробники
Аргентина	935 (2)	-	9	HWR	Siemens AECL
Вірменія	376 (1)	-	35	ВВЕР	Росія
Бельгія	5728 (7)	-	55	PWR	Framatome
Бразилія	1901 (2)	-	4	PWR	Westinghouse Siemens
Болгарія	2722 (4)	-	38	ВВЕР	Росія
Канада	12599 (18)	-	12	HWR	AECL
Китай	6587 (9)	2000 (2)	?	PWR, HWR, ВВЕР	Framatome, AECL, Китай, Росія
Тайвань	4884 (6)	2600 (2)	?	PWR, BWR	GE, Framatome
Чеська Респ.	3472 (6)	-	31	ВВЕР	Росія
Фінляндія	2656 (4)	1600 (1)	27	ВВЕР, BWR, PWR	Росія, Asia, Westinghouse
Франція	63473 (59)	-	78	PWR	Framatome
Німеччина	20303 (17)	-	28	PWR, BWR	Siemens
Угорщина	1755 (4)	-	33	ВВЕР	Росія
Індія	2983 (15)	3638 (8)	3	HWR, FBR, ВВЕР	AECL, Індія, Росія
Іран	-	915 (1)	-	ВВЕР	Росія
Японія	47646 (55)	1933 (2)	25	BWR, PWR	Hitachi, Toshiba, Mitsubishi
Півд. Корея	16840 (20)	-	40	PWR, HWR	Westinghouse, AECL, Корея
Литва	1185 (1)	-	80	РВМК	Росія
Мексика	1310 (2)	-	5	BWR	GE
Нідерланди	452 (1)	-	4	PWR	Siemens
Пакистан	425 (2)	300 (1)	2	HWR, PWR	Канада, Китай
Румунія	655 (1)	655 (1)	9	HWR	AECL
Росія	21743 (31)	3775 (4)	17	ВВЕР, РВМК	Росія
Словацька Респ.	2472 (6)	-	57	ВВЕР	Росія
Словенія	676 (1)	-	40	PWR	Westinghouse
Півд. Африка	1842 (2)	-	6	PWR	Framatome
Іспанія	7584 (9)	-	24	PWR, BWR	Westinghouse, GE Siemens
Швеція	8844 (10)	-	50	PWR, BWR	Westinghouse, Asia
Швейцарія	3220 (5)	-	40	PWR, BWR	Westinghouse, GE Siemens
Україна	13168 (15)	-	46	ВВЕР	Росія
Великобрит.	11852 (23)	-	24	GCR, PWR UK,	Westinghouse
США	97587 (103)	-	20	PWR, BWR	Westinghouse, B&W, GE, GE
СВІТ	367875 (441)	19210 (24)	16		

Джерело: Світова ядерна асоціація²
(<http://www.world-nuclear.org/info/reactors.htm>)

Примітки:

1. Станції, на яких будівництво припинено, не включені в список.
2. Технології: PWR³ - реактор з водою під тиском. BWR⁴ - реактор з киплячою водою. HWR⁵ - реактор з важкою водою (включаючи Candu). ВВЕР - російський аналог PWR. РВМК - російський реактор з використанням графіту і води. FBR⁶ - швидкий брідерний реактор/ реактор-розмножувач. GCR⁷ - реактор з газовим охолодженням

² World Nuclear Association

³ Pressurized Water Reactor

⁴ Boiling Water Reactor

⁵ Heavy Water Reactor

⁶ Fast Breeder Reactor

⁷ Gas-Cooled Reactor

3. Цифри для Канади не включають два блоки, загальною потужністю 1561МВт, які були закриті в 1990р., але щодо яких у жовтні 2005р. було прийняте рішення про переобладнання і запуск в експлуатацію.

Таблиця 2. Атомні станції, які будуються

Країна	Станція	Тип реактора	Виробник	Потужність, МВт	Початок будівн.	Завершеність будівн. (%)	Очікуваний пуск
Китай	Tianwan 1	ВВЕР	Росія	1000	1999	70	2006
Китай	Tianwan 2	ВВЕР	Росія	1000	2000	100	2006
Тайвань	Lungmen 1	ABWR	GE	1300	1999	57	2009
Тайвань	Lungmen 2	ABWR	GE	1300	1999	57	2010
Фінляндія	Олккілутто 3	EPR	Арева	1600	2005	-	2009
Індія	Kaiga 3	Candu	Індія	202	2002	45	2007
Індія	Kaiga 4	Candu	Індія	202	2002	28	2007
Індія	Kudankulam 1	ВВЕР	Росія	917	2002	40	2008
Індія	Kudankulam 2	ВВЕР	Росія	917	2002	40	2008
Індія	Tarapur 3	Candu	Індія	490	2000	73	2007
Індія	PFBR	FBR	Індія	470	2005	0	?
Індія	Rajasthan 5	Candu	Індія	202	2002	34	2007
Індія	Rajasthan 6	Candu	Індія	202	2003	19	2007
Іран	Bushehr	ВВЕР	Росія	915	1975	75	2006
Японія	Tomari 3	PWR	Mitsubishi	866	2004	28	2009
Японія	Higashi Dori 1	BWR	Toshiba	1067	2000	95	2005
Пакистан	Chasnupp 2	PWR	Китай	300	2005	-	2011
Румунія	Cernavoda 2	Candu	АЕСЛ	655	1983	71	2007
Росія	Балаково 5	ВВЕР	Росія	950	1987	?	2010
Росія	Курск 5	РВМК	Росія	925	1985	70	?
Росія	Калінін 4	ВВЕР	Росія	950	1986	?	2010
Росія	Волгодонськ 2	ВВЕР	Росія	950	1983	?	2008
УСЬОГО				17480			

Джерело: база даних PRIS (<http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>), Новини атомної енергетики (Nuclear News, World list of nuclear plants)

Примітка: Станції, позначені *, вже виводилися на критичність.

Таблиця 3. Атомні станції, будівництво яких зупинено

Країна	Майданчик	Технологія	Постачальник	Потужність, МВт	Рік початку	% завершеності
Аргентина	Atucha 2	Candu	АЕСЛ	692	1981	80
Бразилія	Angra 3	PWR	Siemens	1275	1976	30
Північна Корея	Kedo 1	PWR	Південна Корея	1000	1997	33
Північна Корея	Kedo 2	PWR	Південна Корея	1000	1997	33
Румунія	Cernavoda 3	Candu	АЕСЛ	655	1983	10
Румунія	Cernavoda 4	Candu	АЕСЛ	655	1983	8
Румунія	Cernavoda 5	Candu	АЕСЛ	655	1983	8
Словаччина	Mochovce 3	ВВЕР	Росія	405	1983	50
Словаччина	Mochovce 4	ВВЕР	Росія	405	1983	40
Україна	Хмельницька 3	ВВЕР	Росія	950	1986	15
Україна	Хмельницька 4	ВВЕР	Росія	950	1987	15
УСЬОГО				8642		

Джерела: PRIS Data Base (<http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>), Nuclear News, список атомних станцій світу

Таблиця 4. Можливі замовлення протягом наступних двох-трьох років

Замовник	Майданчик	Учасники тендеру	Потреба	Можлива дата	Прогноз завершення
Китай	Sanmen	Арева (EPR), Westinghouse (AP1000), Росія (ВВЕР-1000)	2x1000MW	2005/06	?
Китай	Yangjiang	Арева (EPR), Westinghouse (AP1000), Росія (ВВЕР-1000)	2x1000MW	2005/06	?
Франція	Flamanville 3	Арева (EPR)	1x1600MW	2006	2012
Корея	Shin-Kori 1&2	Корея (KSNP)	2x1000MW	2005	2010, 2012
Корея	Shin-Kori 1&2	Корея (APR-1400)	2x1400MW	2006	2012, 2013
Японія	Tsuruga 3&4	Mitsubishi (APWR)	2x1500MW	2006	2014

Джерела: різні повідомлення в пресі

Японія є ще однією країною, яка постійно прогнозує значне збільшення потужностей, котре не підтверджується реальними замовленнями. Японські компанії оснащують станції, використовуючи ліцензовані технології від Westinghouse і GE. Одержання дозволу на будівництво конкретних об'єктів в Японії може займати до двадцяти років, але коли будівництво починається, звичайно воно завершується швидко (типово - чотири роки) і, як правило, без перенесення термінів. Серія аварій на японських станціях, які до того ж часто невдало ліквідовувалися, призвела до збільшення громадського занепокоєння щодо питань атомної енергії, і знайти майданчики для нових станцій, очевидно, буде важко.

Дуже важко одержати надійну інформацію щодо будівництва на атомних електростанціях в Росії, і можливо, що перераховані в таблиці станції активно не споруджуються. Особливі сумніви викликає блок Курськ-5, який використовує ту ж технологію, яка була в Чорнобилі.

Таблиця 3 показує, що є одинадцять блоків, роботи на яких почалися, але значно не просунулися. Через це наведені дані щодо готовності можуть не відповідати дійсності. Для тих станцій, для яких вказана ступінь завершення менше 33%, очевидно були проведені лише підготовчі роботи на майданчику, без початку реального спорудження реактора.

Щодо перспективних замовлень протягом наступних одного-двох років (див. табл. 4), Китай заявив, що він розмістить ці замовлення в 2005 році, але не буде дивним, якщо цей графік не буде витримано. Блоки для Кореї використовуватимуть корейську технологію (за ліцензією BNFL/Westinghouse). Дата початку будівництва вже кілька разів переносилася, і не очікується, що реальне будівництво почнеться раніше 2006р. для блоків 1 і 2, і 2007р. для блоків 3 і 4.

Щодо блоків станції Цуруга (перші замовлення станції типу APWR), то терміни також були перенесені приблизно на шість років порівняно з попереднім графіком. Станція Flamanville, яка має бути побудована у Франції, також не може бути замовлена до того часу, доки призначений урядом незалежний комітет не завершить заходи по консультуванню з громадськістю, закінчення яких важко очікувати до середини 2006р.

1.1 Ініціативи США

Адміністрація Буша спрямувала координовані зусилля, заохочуючи до відновлення розміщення замовлень на нові атомні станції в рамках своєї Програми "Атомна енергія 2010", розпочатої в 2002р. Програма сфокусована на проектах типу Покоління III+ (див. нижче). На виконання Програми, Департамент Енергетики США очікує започаткування спільних проектів з промисловістю:

“.. одержати погодження Комісії ядерного регулювання США (КЯР) на три будівельних майданчика для спорудження нових атомних станцій в рамках процесу отримання попереднього дозволу на використання майданчика, підготувати вказівки по підготовці заявки на одержання загальної ліцензії на будівництво і експлуатацію (ЛБЕ), і розв'язати типові регуляторні проблеми, пов'язані з ЛБЕ. ЛБЕ є "одноетапним" процесом ліцензування, завдяки якому питання впливу на здоров'я населення та

безпеки атомної станції розв'язуються до початку будівництва, і КЯР затверджує і видає ліцензію на будівництво та експлуатацію нової атомної станції"⁸.

Очікується, що усього буде надано до 450млн.дол. США у вигляді грантів. З'явилися дві основні організації, що планують скористатися цими субсидіями. Nustart, створена у 2004р., включає консорціум з восьми американських генеруючих компаній⁹ - Constellation Energy, Entergy, Duke Power, Exelon, Florida Power & Light, Progress Energy, Southern Company, та Tennessee Valley Authority (TVA, яка буде надавати персонал, але не кошти). Французька EDF та постачальники Westinghouse and GE також є членами, але без права голосу. Nustart планує подати дві заявки - одну на будівництво станції конструкції Дженерал Електрик типу ESBWR у Entergy's Grand Gulf (штат Техас) і одну на будівництво блоку Westinghouse AP-1000 на майданчику Bellefonte, який належить TVA (у розділі 3 наведені детальні дані вказаних проектів).

Лідером іншої головної групи є генеруюча компанія Dominion. Dominion намагалася одержати ЛБЕ для удосконаленої версії канадського проекту CANDU ACR-700 для майданчика North Anna (штат Вірджинія), де Dominion вже експлуатує два енергетичних реактори. Однак у січні 2005 вона оголосила, що замінє реактор ACR-700 на ESBWR виробництва Дженерал Електрик, в основному через те, що потрібен час для ліцензування в Сполучених Штатах станції Candu. Проект Candu не одержав погодження регуляторних органів у США, і КЯР прогнозує, що процес погодження може зайняти більше шестидесяти місяців - набагато більше, ніж буде потрібно для проектів Покоління III+ PWR чи BWR.

Значна кількість генеруючих компаній також оголосили, що вони планують вивчити питання незалежної подачі заявок на ЛБЕ, щоб скористатися перевагами федеральних субсидій. В це коло входять кілька членів Nustart, які працюють незалежно, включаючи TVA, Constellation, Entergy, Duke Power, Progress Energy і Southern Company, плюс South Carolina Electric & Gas. TVA звернулася до Департаменту Енергетики з проханням відшкодувати половину витрат (на сьогодні оцінюваних у 4млн. дол.) на підготовку техніко-економічного обґрунтування¹⁰ будівництва реактора типу ABWR¹¹ на майданчику Bellefonte в штаті Алабама. Інші члени групи TVA - Toshiba, GE, Bechtel, USEC і Global Nuclear Fuel-Americas. Техніко-економічне обґрунтування, оприлюднене компанією TVA у вересні 2005р., яке передбачає будівництво двох реакторів типу GE ABWR в Bellefonte, прогнозує, що станції можуть бути побудовані протягом сорока місяців за 1610дол/кВт. Ця пропозиція зараз видається менш привабливою, ніж ініціатива Nustart, частково через те, що реакторів типу ABWR було б тільки два в Сполучених Штатах, і що тип ABWR вже поступається типу ESBWR. Компанія Constellation Energy оголосила у вересні 2005р., що вона утворила спільне підприємство з компаніями Арева Inc. та Bechtel Power з метою продажу блоків EPR конструкції Арева в Сполучених Штатах. Компанія Entergy оголосила також у вересні 2005р., що вона теж підготує заявку на ЛБЕ для свого майданчика.

Хоча і Nustart, і Dominion group планують працювати над процесом ліцензування до одержання ліцензій, жодна не оголосила зобов'язань побудувати станції, і замовлення на реактори також не були розміщені. Залишається неясним, чи компанії в рамках цих різних ініціатив дійсно вирішили будувати нові атомні станції, чи вони просто користуються перевагами урядових субсидій з надією на те, що пізніше з'являться субсидії на будівництво, і що в подальшому з'являться також ринкові гарантії. Це означало б, що нові атомні станції будуть захищені від ризиків, які є на оптових ринках електроенергії.

Перспектива для ініціатив, започаткованих Nustart і Dominion, чітко сформульовані керівником Dominion¹² паном Томасом Кепсом¹³. У травні 2005р. він заявив:

“Ми не збираємося будувати атомну електростанцію в найближчому майбутньому. У Standard & Poor's і Moody's стався б інфаркт [маються на увазі агентства, які оцінюють борги]. Те ж саме було б і з моїм фінансовим директором.”¹⁴

⁸ <http://www.ne.doe.gov/NucPwr2010/NucPwr2010.html>

⁹ utility

¹⁰ feasibility study

¹¹ Advanced Boiling Water Reactor

¹² CEO, Chief Executive Officer

¹³ Thomas Capps

Це відображає той факт, що рішення щодо замовлень у атомній енергетиці можуть бути прийняті лише при безумовній підтримці фінансового сектору. Жодна компанія не розмістить замовлення на реактор, якщо буде імовірність, що це призведе до істотного подорожчання кредиту для неї або суттєвого падіння цін на її акції.

¹⁴ М.Уальд, „Збільшується інтерес до реакторів, але бізнес ще демонструє обережність”(M. Wald, “Interest in Reactors Builds, But Industry Is Still Cautious”) New York Times, 39 квітня, 2005,19ст.

2. Сучасні конструкції

Схоже на те, що найбільш підходящими конструкціями, на які можуть бути зроблені замовлення протягом наступного десятиліття, особливо на Заході, є так звані конструкції Покоління III та Покоління III+, які часто називають вдосконаленими реакторами. Основна відмінність між станціями Покоління II та Покоління III полягає в тому, що в останніх забезпечується вищий рівень "пасивного" захисту на відміну від "активного". Наприклад, конструкції типу Покоління III будуть менше покладатися на "інженерні" системи для аварійного охолодження, а більше - на природні процеси, такі як конвекція. Вже заявлено багато різних конструкцій, але більшість з них не дуже опрацьовані, не мають погодження регуляторних органів, тому їх шанси бути замовленими значно обмежені. Немає чіткого визначення того, що саме слід вважати конструкціями типу Покоління III, крім того, що вони були розроблені протягом останніх п'ятнадцяти років. Основні характеристики, які згадуються атомною промисловістю з цього приводу, є такими:

- стандартизована конструкція для кожного типу з метою прискорення ліцензування, зниження капітальних витрат і скорочення терміну спорудження;
- простіша і надійніша конструкція, яку простіше обслуговувати і яка менш вразлива до експлуатаційних проблем;
- більший коефіцієнт використання потужності і довший термін служби – типовий термін складає 60 років;
- знижена імовірність аварій з розплавленням активної зони;
- мінімальний вплив на довкілля;
- більший ступінь вигорання палива для зменшення об'єму відходів і потреби в паливі;
- використання поглиначів, що згоряють («отрут»), для подовження терміну служби паливних елементів.

Ці характеристики дійсно дуже нечіткі і не дають ясного розуміння того, що таке конструкція типу Покоління III, крім того, що ця конструкція розвинулася з існуючих моделей PWR, BWR та Candu (див. Додаток 2, де описуються технології, та Додаток 3, де вказані основні виробники). Різниця між конструкціями Покоління III та III+ ще більш невизначена, і Департамент енергетики США говорить лише, що конструкції III+ мають переваги над конструкціями III щодо безпеки та економічних характеристик. До того, поки буде напрацьований більший досвід роботи зі станціями Покоління III та III+, до будь-яких цифр щодо затрат на генерування на таких станціях треба ставитися дуже обережно.

2.1 Реактори PWR

2.1.1 EPR

Єдиний реактор типу PWR з покоління Покоління III та III+, який був замовлений - це реактор компанії Арева типу EPR¹⁵ для майданчика Олкілуото в Фінляндії. Фінський уряд видав ліцензію на спорудження в лютому 2005р., і будівництво почалося влітку 2005р. Реактор EPR був також поданий на тендер в Китаї, але станом на жовтень 2005р. рішення ще не було прийняте. Франція планує побудувати принаймні один реактор EPR і, можливо, ще п'ять пізніше, але ці плани далекі від остаточних. Безпечність реактора EPR була затверджена французькою владою у вересні 2004р. і фінською владою у січні 2005р. Арева звернулася до Комісії ядерного регулювання США разом з Constellation Energy з проханням розпочати процедуру ліцензування EPR в Сполучених Штатах у рамках Програми 2010. Для ринку США EPR буде розумітися як абревіатура від Evolutionary Power Reactor (*Еволюційний енергетичний реактор*).

Потужність EPR складає 1600МВт, хоча вона може бути збільшена до 1700МВт для наступних після Олкілуото замовлень, і очікується, що він буде будуватися за п'ятдесят сім місяців від заливки першого бетону до вводу в експлуатацію. Конструкція була розроблена на основі попереднього дизайну Framatome N4, з деякими запозиченнями з попередньої конструкції станції "Konvoi" фірми

¹⁵ European Pressurized Water Reactor

Siemens. Очікується, що зменшення часу перезавантаження палива дозволить збільшити коефіцієнт навантаження¹⁶ до приблизно 90%.

Фінський покупець, компанія TVO, вирішила не публікувати детальну інформацію щодо витрат на спорудження, але замовлення описується як "під ключ", і представники компанії заявили, що ціна складає близько трьох мільярдів євро. Якщо взяти до уваги потужність в 1600МВт, затрати складуть близько 1785євро/кВт¹⁷. Однак ці затрати включають відсотки по кредитах і видатки на виведення з експлуатації¹⁸, які, як правило, не включаються в порівняння затрат на будівництво атомних електростанцій. Замовлення на будівництво в Олкїлуото більшістю спостерігачів розглядається як особливий випадок, і висловлюються погляди, що компанія Арева запропонувала ціну, якої не вистачить для демонстрації її нової технології, в той час як покупець, компанія TVO, не є звичайною електрогенеруючою компанією. TVO - це компанія, якою володіють великі промислові підприємства Фінляндії і яка постачає електроенергію своїм господарям на неприбутковій основі. Таким чином, станція буде мати гарантований ринок для виробленої електроенергії і їй не доведеться конкурувати на ринку електроенергії північних країн, хоча, якщо затрати на виробництво будуть вищі в порівнянні з ринковими цінами, власники втратять гроші. Реальна ціна капіталу для станції складає усього 5% на рік¹⁹

Французька компанія EDF також не оголосила, скільки вона збирається заплатити за станцію Flamanville. Однак Арева заявила про свої очікування, що її реактор EPR, якщо продаватиметься на ринку США, буде коштувати від 1600 до 2000дол./кВт (не включаючи відсотки по кредитах протягом будівництва та виплат на вивід з експлуатації). Ці цифри Арева подавала як "не остаточні", але 2000дол./кВт - це трохи менше, ніж загальна цифра, названа для Олкїлуото²⁰.

Варто зауважити, що в той час як експлуатаційна надійність станцій "Konvoi" була прекрасною, надійність станцій N4 є набагато нижчою. Перший блок, Chooz B1, почав генерувати енергію в 1996, але страждав на багато проблем пускового періоду, і протягом наступних чотирьох років його середній коефіцієнт навантаження був менше 40%. Після цього надійність була значно кращою, і середній коефіцієнт навантаження склав 75%. Три інших блока цієї конструкції загалом повторили ці ж показники - три-чотири роки дуже низької продуктивності (типовий коефіцієнт навантаження приблизно 40%), після чого йшов період достатньої надійності (коефіцієнт навантаження 75%). Повідомлялося, що конструкція N4 базується на досвіді 60 побудованих у Франції реакторів PWR, і це показує, що не можна вважати, ніби нові типи на зразок EPR, будуть більш надійними лише завдяки тому, що за основу їх взято попередній досвід.

2.1.2 AP-1000

Тип AP-1000²¹ був розроблений Westinghouse на основі конструкції AP-600. Обґрунтуванням для AP-600 було бажання збільшити акцент на пасивний захист, а також припущення, що "економія за рахунок масштабу" (тобто, що краще будувати більші блоки, а не більшу їх кількість) була завищеною. Відповідальний співробітник Westinghouse обґрунтовував вибір потужності 600МВт, замість 1000-1300МВт, тим, що "принцип економії за рахунок потужності вже не працює"²². Проект AP-600 пройшов розгляд в регуляторному процесі США і одержав сертифікат безпеки в 1999р. Вже тоді було ясно, що конструкція економічно недоцільна, і AP-600 ніколи не подавався на тендери. Його потужність була збільшена до приблизно 1150МВт з надією, що економія за рахунок масштабу зробить

¹⁶ Річний коефіцієнт навантаження (або коефіцієнт використання встановленої потужності) розраховується як процент річного (або протягом всього часу експлуатації) виробництва станцією енергії в порівнянні з виробництвом, яке давала б станція у випадку безперервної роботи на повній потужності. Цей коефіцієнт є гарним показником надійності станції.

¹⁷ Перерахунок євро в долари виконано відповідно до курсу €1=US\$1.2, а від фунту до долара £1=US\$1.8.

¹⁸ decommissioning charges

¹⁹ Європейська Федерація відновлюваної енергії (European Renewable Energies Federation) подала скаргу до Європейської Комісії у грудні 2004р., що станція в Olkiluoto отримає незаконну державну допомогу. До жовтня 2005р. рішення щодо цієї скарги ще не було прийняте.

²⁰ Nucleonics Week, September 22, 2005, p 12.

²¹ Advanced Passive - вдосконалений пасивний

²² Nucleonics Week Special Report, "Огляд вдосконалених реакторів (Outlook on advanced reactors)" March 30, 1989, p 3.

конструкцію конкурентоспроможною. У 2004р. Комісія ядерного регулювання (КЯР) США видала компанії Westinghouse Погодження завершеної конструкції²³ на проект AP1000, дійсне протягом 5 років. Очікується, що до грудня 2005р. КЯР надасть стандартний Сертифікат на конструкцію²⁴, дійсний протягом 15 років. До цього часу, AP-1000 був запропонований тільки на один тендер, а саме, на відкритий тендер на чотири блоки Покоління III для Китаю, по якому станом на липень 2005р. рішення ще не було прийняте.

Передбачається, що модульна конструкція AP-1000 дозволить будівництво протягом 36 місяців при затратах 1200дол./кВт. Однак, доки не відкриті реальні затрати, вказані в тендерній заявці, і доки блоки не побудовані, ці цифри треба оцінювати скептично.

2.1.3 System 80+/APR-1400

Конструкція System 80+ компанії Combustion Engineering одержала погодження від регуляторних органів США у 1997р., коли компанією Combustion Engineering володіла Asea Brown Boveri (ABB). ABB (включаючи ядерний підрозділ Combustion Engineering) була згодом куплена British Nuclear Fuel Limited (BNFL) і поглинута підрозділом Westinghouse, і нині конструкція System 80+ не пропонується компанією Westinghouse на продажу. Однак корейський постачальник, Doosan, використав цей дизайн за ліцензією Westinghouse для розробки свого APR-1400. Очікується, що на нього буде замовлення в Кореї протягом наступних одного-двох років. Корея пробувала подати цей проект на згаданий тендер в Китай, але його відхилили. Виглядає малоімовірним, що цей тип буде запропоновано на європейських ринках.

2.1.4 APWR

Розробка типу Advanced PWR (APWR) концерном Mitsubishi і власником ліцензії на її технологію, Westinghouse, розпочалася приблизно в той же час, як і ABWR - п'ятнадцять років тому, але замовлення набагато відстали від замовлень на ABWR і не очікуються до приблизно 2007р. Незрозуміло, чи буде APWR запропонований на Заході. Mitsubishi ніколи не намагалася виграти замовлення на Заході, а Westinghouse концентрує свої зусилля на AP-1000.

2.1.5 АЕС-91 ВВЕР-1000

Це остання російська розробка, яка пропонується Атомстройекпортом. Вона була однією з трьох, яким було запропоновано взяти участь в тендері для Олкілуото. Фінляндія має два ВВЕР попереднього покоління (в Loviisa), і через своє геополітичне положення і попередній досвід з технологією ВВЕР, Фінляндія розглянула і останню російську розробку. Цей тип був також запропонований на замовлення Китаю на чотири реактори Покоління III, які очікуються в 2005-2006р. Неясно, наскільки цей дизайн може претендувати на назву Покоління III, і здається малоімовірним, що на будь-якому західному ринкові, окрім Фінляндії, він буде розглядатися.

2.2 Реактори BWR

2.2.1 ABWR

Реактор ABWR був розроблений в Японії компаніями Hitachi і Toshiba та власником ліцензії з США, General Electric (GE). Два перших замовлення були розміщені близько 1992р. і завершені в 1996-1997рр. До середини 2005р. три ABWR були в експлуатації, один - в стадії будівництва в Японії, і два будувалися на Тайвані. Повідомлялося, що загальні витрати на будівництво перших двох японських блоків склали 3236дол./кіловат в доларах 1997р., а для наступних складуть близько 2800дол./кіловат. Ці затрати набагато вищі тих, що прогнозувалися²⁵. Реактор ABWR одержав сертифікат безпеки в

²³ Final Design Approval

²⁴ Design Certification

²⁵ K. Hart, "Перший в світі вдосконалений реактор типу BWR може почати генерування енергії наступного тижня (World's First Advanced BWR Could Generate Electricity Next Week)" *Nucleonics Week*, January 25, 1996, p. 1

Сполучених Штатах у 1997р., але зараз, очевидно, вже не може розглядатися як достатньо вдосконалений для західних замовників.

2.2.2 ESBWR²⁶

Економний і спрощений реактор BWR має потужність 1500МВт, він розроблений компанією GE. В жовтні 2005р. GE подала заявку до КЯР для одержання сертифікату на конструкцію ESBWR. ESBWR був розроблений частково на основі Спрощеного реактора BWR²⁷ компанії GE, а частково на основі конструкції ABWR. Процес одержання погоджень від регуляторних органів для реактора SBWR був розпочатий в 1990-х, але заявка була відкликана до закінчення процедури, і конструкція не була замовлена ні разу. GE сподівається отримати Погодження завершеної конструкції²⁸ на ESBWR до кінця 2006р., а сертифікат - приблизно через рік по тому. Станом на жовтень 2005р. КЯР ще не оголосила очікувану дату закінчення розгляду.

2.2.3 Інші реактори типу BWR

Цілий ряд конструкцій був розроблений, але ніде жоден з них не одержав погодження регуляторних органів, і лише SWR був запропонований на продаж. Основні типи реакторів BWR включають:

- SWR: конструкція потужністю 1000–1290МВт, розроблена компанією Арева. Цей дизайн був одним з трьох, яким запропонували подати заявку на Олкілуото.
- BWR-90+: потужність 1500МВт, розроблений Westinghouse на основі реактора BWR компанії Asea .

2.3 Реактори Candu

Вдосконалений реактор Candu²⁹ розробляється в двох варіантах: ACR-700 (750МВт) і ACR-1000 (1100-1200МВт). Реактор ACR-700 розглядався КЯР США за поданням генеруючої компанії Dominion, але Dominion відмовилася підтримувати цей реактор в січні 2005, обравши натомість реактор ESBWR компанії GE, посилаючись на довгий термін (не менше п'яти років), який був би потрібен для розгляду, через відсутність досвіду роботи з технологією Candu в Сполучених Штатах. Зусилля по ліцензуванню ACR в Сполучених Штатах продовжуються, але не так інтенсивно. В результаті відмови компанії Dominion від підтримки ACR-700 як її базового типу, AECL (Atomic Energy of Canada Limited) запевняє, що сконцентрує свої зусилля на реакторі ACR-1000.

2.4 Реактори HTGR³⁰

Не ясно ще, чи повинні реактори HTGR, які розробляються, розглядатися як реактори III або IV покоління. Модульний реактор з засипкою з кульових ТВЕЛів³¹ створений на основі конструкцій, які Siemens та АВВ розробляли для Німеччини, але потім відмовилися від них через незадовільний досвід з демонстраційною станцією. Тепер цей тип розробляється південноафриканськими компаніями. Різні придбання і злиття серед виробників реакторів привели до того, що на сьогоднішній день власниками ліцензій на технологію є Арева (за Siemens) та Westinghouse (за АВВ). Технологія зараз розробляється PBMR Co., серед партнерів якої є Eskom, електрогенеруюча компанія Південної Африки громадської форми власності³², BNFL та американська генеруюча компанія Exelon, а також інші південноафриканські учасники. Проект вперше був оголошений у 1998р., коли очікували, що перші комерційні замовлення можуть бути розміщені в 2003р. Але більші, ніж очікувалося, проблеми із завершенням розробки, вихід з проекту компанії Exelon, непевність щодо намірів інших учасників (включаючи Westinghouse) продовжувати роботу, привели до того, що графік роботи над проектом кардинально розтягнувся. Тепер перші комерційні замовлення не можуть бути зроблені аж до 2012р., навіть якщо інших затримок не буде. Китайські компанії також розробляють подібну технологію з тими ж вихідними

²⁶ Economic & Simplified BWR (ESBWR)

²⁷ Simplified Boiling Water Reactor (SBWR)

²⁸ Final Design Approval, FDA

²⁹ Advanced Candu Reactor (ACR)

³⁰ високотемпературні з газовим охолодженням - прим. переключ

³¹ Pebble Bed Modular Reactor, PBMR

³² publicly owned

технологіями, але хоч і були зроблені оптимістичні заяви щодо прогресу, здається, що китайський уряд підтримує розвиток реакторів PWR і, можливо, BWR.

3. Ключові детермінанти ядерної економіки

Є кілька важливих показників, які визначають вартість електроенергії, виробленої на атомній електростанції. Деякі з них інтуїтивно зрозумілі, в той час як інші менш очевидні. Загальне правило для атомної енергетики - це те, що приблизно дві третини вартості виробництва зумовлені фіксованими коштами - тобто коштами, які необхідно витратити незалежно від того, чи експлуатується станція, а решта - поточними затратами.

Основні фіксовані затрати - це виплати процентів по позиках і повернення капіталу, але сюди також включаються і видатки на вивід станції з експлуатації. Основні поточні затрати - це затрати на експлуатацію, обслуговування станції і ремонт, а не на паливо. Однак, як буде показано нижче, є величезні розбіжності у припущеннях, зроблених в різних прогнозах для цих параметрів, так що велика різниця між фіксованими і поточними затратами повинна розглядатися скоріше як загальна ознака. Також треба зауважити, що ці прогнози були зроблені протягом п'ятирічного періоду і виражені в різних валютах. Вплив інфляції - наприклад, 2,5% на рік протягом п'яти років збільшують затрати на 13%, а коливання обмінних курсів (наприклад, курс доллар-фунт від 2000р. мінявся між £1=\$1.40 і £1=\$1.93) означає, що будь-яке порівняння буде страждати на суттєву неточність.

3.1 Тривалість спорудження і затрати на спорудження

Затрати на спорудження обговорюються найбільше, хоча інші параметри, такі як вартість капіталу і експлуатаційні характеристики, також мають суттєву вагу у загальних витратах. Є багато факторів, які пояснюють, чому існує така суперечливість щодо прогнозних оцінок затрат на спорудження.

3.1.1 Ненадійність даних

Багато згаданих тут прогнозів затрат на спорудження повинні розглядатися зі скептицизмом. Найбільш надійним показником майбутніх затрат вважаються затрати минулих років. Однак більшість генеруючих компаній не зобов'язані публікувати ретельно перевірені затрати на спорудження, а вони намагаються показати свою роботу виключно в гарному світлі. Регуляторні економічні органи вимагали від американських компаній публікації надійних звітів про затрати на спорудження атомних станцій, оскільки ці органи дозволяли відшкодовувати затрати за рахунок споживачів лише в тому випадку, коли понесені затрати пройшли аудит. Лише затрати на станцію Sizewell B відносно добре задокументовані, оскільки компанія, яка її будувала, не вела інших великих робіт, якими можна було б "прикрити" ці затрати.

Навіть якщо затрати надійно встановлені, все одно залишаються питання щодо того, чому їх рівень був саме таким. Наприклад, згідно зі звітом PIU³³, затрати на Sizewell B були на 35% вищими в реальному вираженні, ніж ті, які були названі під час замовлення станції у 1987р. Але British Energy заявляє, що із загальної вартості \$5,400/кВт частка £750/кВт (25%) є витратами, викликаними тим, що це була перша станція такого типу. Ціни на обладнання, які називають постачальники, можна вважати реалістичними, хоч затрати на обладнання і складають менш ніж половину загальних затрат (будівництво і монтаж, як правило, обходяться дорожче). Ціни контрактів також можуть підвищуватися додатковими угодами, що означає можливість суттєвого зростання остаточної ціни - отже, заявлені в пропозиції ціни мають обмежену інформативність.

Ціни, які називають ті, хто має прямиий інтерес в даній технології (органи, які сприяють розвитку атомної енергетики, постачальники реакторів (коли вони не говорять про конкретний контракт), а також генеруючі компанії), звичайно ж повинні розглядатися зі здоровим рівнем недовіри.

³³Підрозділ оцінки продуктивності і інновацій Кабінету міністрів Performance and Innovation Unit (2002) "The economics of nuclear power," Cabinet Office, London.

Ціни, які згадують міжнародні агентства, наприклад Агентство з атомної енергії, також треба сприймати із застереженнями, особливо коли вони базуються на індикативних, а не на реальних затратах. Як правило, ці цифри надають уряди країн, а вони можуть мати свої власні причини для того, щоб показати ядерну енергетику в гарному світлі. Як правило, уряди виводять свої цифри не на основі конкретного досвіду.

Вважається, що затрати на капітал є найбільшою складовою у вартості енергії, виробленої на атомній станції. Через це затрати на спорудження критично важливі при оцінці очікуваної вартості енергії. Загальноприйнято, що в заявлену вартість спорудження включаються затрати на перше завантаження палива, але не включаються відсотки по кредитах, взятих на спорудження станції (ці відсотки називають "відсотками протягом будівництва", IDC - interest during construction). Щоб можна було порівнювати реактори різної потужності, часто затрати виражають як затрати на один кіловат встановленої потужності. Отже, будівництво атомної станції з потужністю 1200МВт, затрати на яку оголошені на рівні £2000/кВт, обійдеться у £2,400,000,000.

Прогнози щодо затрат на спорудження сумно відомі своєю неточністю, часто вони серйозно недооцінюють реальні затрати і - на відміну від більшості інших технологій, для яких так звана "економія за рахунок масштабу" та технічний прогрес призводили до зменшення реальних затрат на наступні покоління тих самих технологій - реальні затрати на спорудження атомних станцій не зменшилися і мають тенденцію до зростання.

Існують також неминучі відмінності між різними країнами в затратах на робочу силу та затратах на основні матеріали, такі як сталь і бетон.

3.1.2 Труднощі прогнозування

Є цілий ряд чинників, які роблять прогнозування затрат на спорудження складним. По-перше, всі атомні станції, які зараз пропонуються розробниками, вимагають дуже значної інженерної роботи на місці спорудження, що може скласти до 60% усіх затрат на спорудження, в той час як основне обладнання - турбогенератори, парогенератори і корпус реактора - складають незначну частку загальних витрат³⁴. Великі проекти, які включають значний обсяг інженерних робіт на місці, відомі особливими труднощами управління та контролю витрат; у Великобританії затрати на тунель під Ла-Маншем та на бар'єр на Темзі були значно вищими, ніж прогнозовані. Деякі конструкції Покоління IV, такі як реактор з кульовою засипкою, проектується з розрахунком на те, що вони в основному будуть вироблятися на заводі, і очікується, що на заводі буде значно легше контролювати витрати.

Для деяких проектів атомних станцій можливим є замовлення "під ключ", тобто в цьому випадку постачальник гарантує, що затрати не будуть більшими, ніж обумовлений рівень. Умови "під ключ" можливі лише в тому випадку, коли постачальник впевнений, що він може контролювати всі аспекти затрат на будівництво. Сучасні покоління теплових газових електростанцій, комбінованих газотурбінних станцій (CCGT) часто продаються на умовах "під ключ" через те, що основні роботи виконуються на контрольованих постачальником заводах, а на місці спорудження обсяг робіт відносно невеликий. В середині 60-х, чотири основних постачальника атомних станцій в США продали в сумі 12 станцій "під ключ", але втратили величезні суми грошей внаслідок того, що не могли контролювати затрати на будівництво. З того часу виглядає малоімовірно, що якийсь інший постачальник візьме на себе ризик поставки закінченої станції на умовах "під ключ".

Зауважте, що окремі елементи обладнання можуть бути куплені на умовах "під ключ", але будь-яка ціна для всієї станції, якщо вона згадується, як "під ключ", повинна сприйматися зі скептицизмом. Замовлення на Олкілуото звичайно описується як замовлення такого типу, і Арева відповідає за управління будівництвом. Але деталі контракту конфіденційні, і неможливо сказати, чи справді в контракті немає пунктів, які б дозволили зростання ціни. Наприклад, якщо якась

³⁴ Внаслідок того, що контролювати затрати на спорудження дуже важко, довготермінова політика Світового Банку полягає в тому, щоб не надавати позики для ядерних проектів. Див.: World Bank (1991) "Environmental Assessment Sourcebook: Guidelines for environmental assessment of energy and industry projects, volume III," World Bank Technical Paper 154, World Bank, Washington, DC.

аварія де-інде приведе до необхідності поміняти щось в конструкції відповідно до змін у регуляторних вимогах, чи ці додаткові затрати дійсно буде нести Арева?

По-друге, вартість зростає, якщо необхідно внести зміни в конструкцію; наприклад, якщо виявиться, що якість розробленого робочого проекту незадовільна або вимоги щодо безпеки потребують змін в конструкції, або якщо до початку спорудження проектна документація неготова. У зв'язку з цим будівельники станцій не намагаються одержати остаточне погодження від регуляторних органів до початку реального спорудження, як це і передбачається запропонованою у США комбінованою ліцензією на будівництво і експлуатацію. Ті, хто буде споруджувати станцію, вимагають лише, щоб проектна документація була доведена до розумно можливого рівня завершеності перед початком будівництва.

Ризику конструктивних змін не можна повністю позбутися, особливо з новими конструкціями, де неочікувані проблеми можуть виникнути в процесі будівництва. Досвід, набутий під час експлуатації вже побудованих реакторів, також може призвести до необхідності змін в конструкції після того, як спорудження вже почалося. Наприклад, значна ядерна аварія призвела б до перегляду конструкції всіх станцій, які споруджуються (так само як і тих, що вже експлуатуються), і неможливо ігнорувати важливих висновків з аварії лише через те, що ліцензія на існуючу проектну документацію вже була одержана.

3.1.3 Набуття досвіду, економія за рахунок масштабу і технічний прогрес

Як правило, для всіх технологій очікується, що наступні покоління проектів будуть дешевшими і кращими за попередні завдяки таким чинникам, як набуття досвіду, економія за рахунок масштабу та технічний прогрес. Наскільки ядерна технологія стала кращою - спірне питання, але вартість її суттєво не зменшилася. Причини цього складні і не до кінця зрозумілі, але фактори, які часто згадуються, включають зростаючі вимоги регуляторних органів (зауважте: стандарти не зросли, але кількість заходів, які вважаються тепер необхідними для досягнення цих стандартів, зростає), а також нерозумне обмеження витрат на реактори першого покоління. Обмежена кількість замовлень на реактори нинішнього покоління, особливо таких замовлень, вартість яких добре задокументована, не дає змоги зробити висновок про стабілізацію вартості, не кажучи вже про її зменшення. З іншого боку, "навчання", покращення продуктивності завдяки набутому досвіду та економія за рахунок масштабу є двосторонніми процесами. В 1970р. основні постачальники реакторів одержували до десяти замовлень на рік. Це дозволило їм створити ефективні виробничі потужності для виробництва основних компонентів і зібрати кваліфіковані колективи конструкторів і інженерів. Наскільки вдалося досягти економії за рахунок цих більших цифр, важко сказати. Доповідь Агентства з атомної енергії від 2000р., яка говорить про те, що наявні інтуїтивні очікування щодо значної економії за рахунок масштабу, може виявитися не зовсім точною. В ній говориться³⁵:

"Замовлення двох блоків одночасно, але при інтервалі початку будівництва не менше року, приведе до економії на другому блоці приблизно в 15%. Якщо другий блок є частиною подвійного блоку, економія для другого блоку складе близько 20%. Замовлення додаткових блоків тієї ж серії не приведе до істотно більшої економії. А ефект стандартизації для більш ніж двох блоків ідентичної конструкції, імовірно, буде зовсім неістотним."

Коли британський Підрозділ оцінки продуктивності і інновацій Кабінету міністрів вивчав економіку енергетики (PIU) у 2002р., йому надали прогнози затрат компанія British Energy (власник атомної електростанції) і BNFL (компанія, яка спорудила станцію), котрі базувалися на "суттєвих вигодах, що будуть одержані завдяки набутому досвіду та масштабних ефектів від програми стандартизації". PIU скептично поставився до ефекту від набутого досвіду, визнаючи, що досвід дійсно буде набуватися, але вплив його може бути обмеженим. PIU заявив³⁶: "Темп і

³⁵ Nuclear Energy Agency (2000) "Reduction of Capital Costs of Nuclear Power Plants," OECD, Paris, p. 90.

³⁶ Performance and Innovation Unit (2002) "The Energy Review," Cabinet Office, London, p 195.
<http://www.strategy.gov.uk/downloads/su/energy/TheEnergyReview.pdf>.

обсяг набуття досвіду можуть, однак, бути меншими для ядерної енергетики, ніж для енергетики на відновлюваних ресурсах, через те, що:

- порівняно довгий час, потрібний для вводу в дію ядерних потужностей означає, що і зворотний зв'язок від експлуатаційників буде повільнішим;
- повторне ліцензування ядерних проектів ще більше сповільнює запровадження змін до існуючих конструкцій;
- можливості для економії за рахунок масштабу при виробництві компонентів є для ядерних об'єктів набагато меншими, оскільки серії виробництва тут набагато менші, ніж у секторі енергетики на відновлюваних ресурсах, де можуть бути одночасно виготовлені сотні чи навіть тисячі одиниць”.

Основні постачальники реакторів одержали лише декілька замовлень протягом останніх двадцяти років, їх власні виробничі лінії були закриті, а висококваліфіковані бригади скорочені. Westinghouse одержала лише одне замовлення протягом останніх двадцяти п'яти років, і навіть французький постачальник одержав своє перше замовлення - для Фінляндії - через п'ятнадцять років після попереднього. Що стосується нових замовлень, то більші компоненти, як правило, повинні замовлятися і виготовлятися у спеціалізованих компаніях в рамках одиничних контрактів, очевидно в таких країнах як Японія, і в майбутньому, можливо, Китай³⁷. Доведеться знову комплектувати колективи проєктантів та інженерів-розробників.

Реактор Sizewell B був останнім, спорудженим в Британії, роботи закінчилися в 1995р. Не так легко точно визначити його вартість через, наприклад, дискусійність питання щодо того, наскільки повно треба включати затрати, пов'язані з його "першим номером у серії". Однак загальна вартість була визначена Національним аудиторським офісом у 1998р. на рівні приблизно £3 мільярди³⁸ (близько £3.5 мільярдів у сьогоdnішніх цінах), тобто вартість склала £3,400/кВт³⁹.

3.1.4 Час спорудження

Збільшення часу спорудження понад запланований прямо не збільшує вартість (затрати), хоч це й приводитиме до збільшення "процентів протягом будівництва". Часто це є симптомом проблем на стадії будівництва, таких як проблеми з проектною документацією, проблемами управління будівництвом або труднощі з поставками – це все може призвести до вищих витрат на будівництво. В конкурентному середовищі електроенергетики довгий період будівництва буде мінусом, оскільки це збільшує ризик того, що обставини поміняються, роблячи інвестицію неекономічною ще до її завершення. Це також мінус і через те, що довге будівництво означає більшу вартість капіталу в конкурентному середовищі (про це мова буде йти нижче).

Загальний час затримки, від моменту прийняття рішення про побудову станції до початку її комерційної експлуатації (тобто після того, як початкові випробовування закінчено і управління станцією передано від постачальника, який її побудував, до власника), як правило, набагато більший, ніж власне час будівництва.

Наприклад, рішення побудувати атомну станцію у Великобританії було прийняте 1979р., але будівництво не розпочалося до 1987р. (через затримки не лише в результаті громадських запитів, але і в зв'язку з труднощами із завершенням проектною документації). Станція почала давати комерційну енергію лише в 1995р., так що загальна затримка склала 16 років. Вартість передбудівельної фази, як правило, відносно низька у порівнянні з будівництвом, якщо тільки реактор не є “першим реактором свого типу”, для якого проєктування і отримання сертифікату безпеки може виявитися дорогим. Однак, для генеруючої компанії, яка працює в конкурентному середовищі, така велика затримка і пов'язані з нею ризики – наприклад, неможливість вчасно закінчити стадію планування або збільшення вартості

³⁷ Наприклад, якщо реактор EPR буде замовлений для Flamanville, то корпус реактора, імовірно, буде виготовлятися в Японії.

³⁸ National Audit Office (1998), "Продажа British Energy (The sale of British Energy)", Палата Громад, 694, Парламентська сесія 1997-98, Лондон, HMSO.

³⁹ British Energy заявляє, що значну частину цих затрат складають затрати, понесені у зв'язку з тим, що це був перший реактор свого типу, і ці затрати в подальшому будуть відсутні.

будівництва через зміну регуляторних вимог – є головним чинником, які утримують її від того, щоб обрати цю атомну станцію.

3.2 Проектна потужність

Максимальна потужність станції буде визначати, скільки кіловат-годин товарної електроенергії зможе виробити станція. Особливо для британських станцій проблеми корозії і поганого проектування означали, що більшість станцій не могли працювати на повній передбаченій проектом потужності. Для більш широко використовуваних у світі типів реакторів, зниження максимальної потужності нижче проектною не було в останні роки проблемою, і більшість станцій могли працювати на тих потужностях, на які вони запроєктовані. Навпаки, в деяких випадках, зміни на станції після введення її в експлуатацію – наприклад, використання більш ефективної турбіни або підвищення робочої температури – означали, що деякі станції могли працювати на потужностях вищих, ніж проектні. Для майбутніх замовлень все ще існує невеликий ризик того, що станція не зможе працювати на тому рівні потужності, який запроєктовано, але цей ризик видається досить малим у порівнянні з іншими небезпеками.

3.3 Вартість капіталу

Це ще один компонент в затратах на капітал, який має значення нарівні з вартістю будівництва (див. Додаток 1). Дійсна (тобто без урахування інфляції) вартість капіталу змінюється від країни до країни і від компанії до компанії, відповідно до властивого країні ризику і кредитного рейтингу компанії. Також існує величезний вплив того, яким чином організовано сектор електроенергії. Якщо цей сектор є регульованою монополією, дійсна вартість капіталу може бути низькою - аж до 5-8%, але в конкурентному ринку електроенергії вона, найбільш імовірно, досягатиме принаймні 15%.

Зрозуміло, що якщо найбільшою складовою у вартості енергії від атомної станції є відсотки на капітал, то подвоєння необхідного рівня окупності дуже серйозно вразить економіку атомної енергетики. Не існує "правильної" відповіді на запитання, яку вартість капіталу треба застосовувати. Коли електроенергетика була монополією, генеруючим компаніям гарантувалося повернення повних затрат, іншими словами, які б затрати вони не понесли, вони могли їх відшкодувати за рахунок споживачів. Це робило будь-яку інвестицію дуже малоризиковою для тих, хто надавав капітал, оскільки весь ризик падав на споживачів. Вартість капіталу змінювалася в залежності від країни і від того, була компанія приватною чи належала до громадської власності (компанії громадської форми власності, як правило, мали високий кредитний рейтинг, і через це вартість капіталу для них була нижчою, ніж для приватних компаній). Діапазон складав 5-8%.

У випадку ефективного ринку електроенергії, ризик інвестицій падав би на генеруючу компанію, а не на споживачів, і вартість капіталу відображала б цей ризик. Наприклад, у 2002р. в Британії близько 40% генеруючих потужностей знаходилася у власності фінансово ненадійних компаній (приблизно половину з них складали потужності атомних станцій), і кілька компаній і банків втратили мільярди фунтів на інвестиціях в електростанції, які вони збудували або фінансували. В цих умовах дійсна вартість капіталу на рівні понад 15% здається добре обґрунтованою. Якби ризики зменшилися - наприклад, якби уряд гарантував ринок збуту для електроенергії і ціну - вартість капіталу була б нижчою, але це було б субсидією (тобто державною підтримкою) з боку уряду, і не ясно, чи було б це прийнятно з точки зору законодавства Європейського Союзу.

3.4 Продуктивність роботи

Для технології з настільки великими затратами на капітал, як атомна енергетика, високий рівень її використання є надзвичайно важливим, щоб високі фіксовані затрати (повернення капіталу, відсотки на капітал і виплати на виведення з експлуатації) могли бути розподілені між як можна більшою кількістю одиниць продукції. Крім того, атомні електростанції фізично "негнучкі", і через це було б нерозумно запускати і зупиняти станцію, а також міняти її вихідну потужність частіше, ніж це конче необхідно. В результаті, атомні станції працюють на "основній потужності",

за винятком кількох країн (наприклад, Франції), де частка атомної енергетики настільки значна, що це неможливо. Гарним показником надійності станції і того, наскільки вона ефективна у виробництві товарної енергії, є коефіцієнт навантаження, в американському варіанті - коефіцієнт потужності. Коефіцієнт навантаження розраховується як відношення виробництва протягом певного періоду до виробництва, яке було б можливим протягом того ж періоду при безперервній роботі на повній потужності⁴⁰.

Як правило, коефіцієнти навантаження розраховуються на рік або на весь період роботи станції. На відміну від вартості спорудження, коефіцієнти навантаження можна точно і однозначно вимірювати, і таблиці коефіцієнтів навантаження регулярно публікуються спеціалізованою пресою, наприклад в Nucleonics Week та Nuclear Engineering International. Можуть бути різні погляди щодо причин зупинок або зменшення вихідної потужності, але з погляду економіки це не має великого значення. Як і у випадку з затратами на будівництво, коефіцієнти навантаження діючих станцій набагато нижчі за попередні прогнози. Творці станцій та інші прибічники атомної енергії передбачали, що атомні станції будуть надзвичайно надійними, і зупинки матимуть місце лише для обслуговування та заміни палива (в деяких типах реакторів, наприклад AGR і Candu, паливо перезавантажується постійно і потреба в зупинці виникає лише для обслуговування), що виводило коефіцієнти навантаження на рівень 85-95%. Однак ефективність роботи виявилася низькою, і у 1980р. середній коефіцієнт навантаження для усіх станцій світу становив близько 60%. Проілюструємо вплив коефіцієнта навантаження на економіку атомної енергетики: якщо ми приймемо, що фіксовані затрати складають дві третини від вартості виробленої енергії при коефіцієнті навантаження 90%, то при зниженні коефіцієнта навантаження до 60% загальна вартість енергії зростає на третину. В тій мірі, в якій незадовільний коефіцієнт навантаження є наслідком неполадок обладнання, додаткові витрати на обслуговування і ремонт також будуть збільшувати вартість енергії. В умовах конкурентного ринку, якщо генеруюча атомна станція не може виконати свої зобов'язання, їй можливо доведеться купувати "заміщуючу" енергію для свого споживача, і часто за дуже високу ціну. Однак починаючи від 1980-х років, атомна енергетика у всьому світі доклала значних зусиль для покращення продуктивності, і у світі середні коефіцієнти навантаження зараз перевищують 80%, а в США вони складають в середньому майже 90%, порівняно з 60% в 1980р. Нажаль, середній коефіцієнт навантаження станцій США, розрахований для усього періоду експлуатації станції, все ще складає лише 70%.

Лише 7 з 414 працюючих реакторів, які знаходяться в роботі більше року і мають повну документацію щодо виробничих показників, мають коефіцієнти навантаження на весь період життя реактора вищі 90%, і лише кращі 100 станцій мають величину цих коефіцієнтів більшу 80%. Цікаво, що 13 кращих реакторів розміщені лише в трьох країнах: 6 - в Південній Кореї, 5 - в Німеччині і 2 - у Фінляндії. Нові конструкції реакторів можуть досягти такого рівня надійності, як у кращих 2% існуючих реакторів, але також можливо, що вони страждатимуть на "дитячі хвороби росту", як це було з попереднім поколінням. Досвід Франції в кінці 90-х з реактором типу N4 тут є особливо корисним.

Зауважте, що в економічному аналізі рівень продуктивності протягом перших років роботи, коли є великі шанси проявів "хвороб росту", буде мати набагато більшу вагу, ніж рівень продуктивності останніх років роботи, у зв'язку з процесом дисконтування. Продуктивність в останні роки роботи може знизитися в результаті старіння обладнання і його заміни, або через необхідність внесення змін у конструкцію для приведення станції у відповідність з поточними стандартами безпеки. Це зниження продуктивності, імовірно, не буде мати великої ваги в економічному аналізі, через дисконтування. Взагалі, припущення щодо 90% або більшої надійності важко обґрунтувати на основі існуючого досвіду роботи.

3.5 Обслуговування та операції, не пов'язані з паливом

⁴⁰ Зауважте, що якщо знижують конструктивну вихідну потужність реактора, то деякі організації (наприклад, МАГАТЕ) дають коефіцієнт навантаження, розрахований на основі дозволеної зниженої потужності, а не на основі потужності, передбаченої проектом. Хоча це і може давати певну корисну інформацію щодо надійності станції, для цілей економічного аналізу треба використовувати проектну потужність, оскільки це те, за що заплатив замовник станції.

Багато людей думають, що атомні електростанції є по суті автоматизованими машинами, для яких потрібно лише паливо і невеликі витрати на обслуговування. В результаті, затратам на операції, що не пов'язані з паливом та обслуговуванням⁴¹, рідко приділяється увага в дослідженнях з ядерної економіки. Як показано нижче, вартість палива відносно низька і її досить надійно можна прогнозувати. Однак у кінці 80-х - на початку 90-х виявилось, що припущення щодо низьких операційних затрат неправильне, і кілька атомних електростанцій в США були закриті через те, що затрати на їх роботу (не враховуючи виплати по фіксованій вартості) були вищими, ніж затрати на будівництво та експлуатацію заміщуючої електростанції на газі. З'ясувалося, що непаливні затрати на експлуатацію (O&M costs) в середньому перевищували \$22/МВт (1.5пенсів/кВт-год), в той час як затрати на паливо склали тоді більш ніж \$12/МВт (0.8пенсів/кВт-год)⁴².

Було докладено істотних зусиль для зменшення непаливних затрат на експлуатацію, і до середини 90-х ці затрати впали в середньому до \$4.5/МВт (0.25пенсів/кВт-год). Варто зазначити, однак, що це зменшення було досягнуто в основному завдяки підвищенню надійності станцій, а не власне зниженню затрат. Багато операційних затрат є в принципі фіксованими – наприклад, оплата персоналу та обслуговування станції - і вони мало змінюються в залежності від того, генерує станція енергію чи ні. Отже, якщо станція буде виробляти більше електроенергії, меншими будуть затрати на одну кіловат-годину. В цілому, загрози раннього закриття через погані економічні показники в США зараз не існує.

Варто також зауважити, що British Energy, якій по суті подарували її вісім атомних електростанцій, коли компанія була створена в 1996р., фінансово обвалилася в 2002р., бо доходи від роботи станції заледве покривали затрати на експлуатацію. Частково це було пов'язано з високою вартістю палива, особливо затратами на переробку використаного палива. Ця переробка зараз виконується лише в Британії і Франції (див. нижче). Середні затрати на O&M для восьми станцій British Energy, включаючи паливо, змінювалися в діапазоні від 1.65 до 1.9 пенсів/кВт-год у 1997-2004рр. Однак, протягом перших дев'яти місяців фінансового року 2004/05, у зв'язку з поганими виробничими показниками на кількох станціях, операційні затрати включно з паливом склали 2.15 пенсів/кВт-год. Середнє значення за весь період складає близько 1.85 пенсів/кВт-год. Якщо прийняти, що вартість палива, включаючи переробку, складає 0.7пенсів/кВт-год, це залишає операційні затрати на рівні близько 1.15пенсів/кВт-год, тобто приблизно на 60% вище, ніж середні затрати в США.

3.6 Вартість палива

Останні двадцять років ціна на уран була низькою, тому вартість палива знизилась. В США вартість палива складає близько 0.25 пенсів/кВт-год, але це очевидно штучно знижена ціна, оскільки уряд США бере на себе відповідальність за утилізацію використаного палива при оплаті по фіксованому тарифу \$1/МВт (0.06 пенсів/кВт-год). Ця довільно встановлена більш ніж 20 років тому ціна не ґрунтується на реальному досвіді - ні в США, ні в жодному іншому місці не існує потужностей для утилізації - і все використане паливо залишається в тимчасових складах до спорудження сховища для використаного палива, яке, як очікують, буде в горах Юкка. Імовірно, що дійсні витрати на утилізацію будуть набагато вищими. Малі затрати на паливо в планованій вартості атомної енергії пояснюються тим, що поставки урану на ринок великі відносно його сучасного споживання. Питання утилізації використаного ядерного палива важко оцінити. Переробка досить дорога, і якщо вироблений плутоній не може бути економічно доцільно використаний, нічого корисного для кращої утилізації відходів не відбувається. Переробка просто розділяє використане паливо на кілька компонентів і не зменшує кількість радіоактивних матеріалів, з якими треба щось робити. Більше того, переробка додає багато нових низько- і середньорадіоактивних відходів, бо все обладнання і матеріали, які використовуються для переробки, стають радіоактивними відходами. Повідомлялося, що попередній контракт між BNFL

⁴¹ O&M costs

⁴² Щодо статистики витрат на експлуатацію див.: <http://www.nei.org/index.asp?catnum=2&catid=95>.

і British Energy, перед колапсом останньої, складав £300 мільйонів на рік, що дорівнює приблизно 0.5 пенсів/кВт-год. Очікується, що новий контракт дозволить British Energy економити близько £150-200 мільйонів на рік, хоч це стане можливим лише завдяки тому, що уряд спише втрати BNFL. Незважаючи на цей невтішний досвід, повідомлялося, що Сполучені Штати розглядають можливість надання дозволу на переробку відпрацьованого палива, яка не проводилася з того часу, як була заборонена адміністрацією Картера. Вартість утилізації високоактивних відходів важко оцінити, оскільки жодних таких підприємств немає і вони навіть не будуються, так що будь-які прогнози будуть, очевидно, неточними.

3.7 Врахування терміну експлуатації

Однією з особливостей станцій Покоління III (порівняно з їх попередниками) є те, що ці станції розраховані на період роботи близько шестидесяти років, в той час як попередні станції мали проектний період роботи на половину менший. Для технології, в якій фіксовані кошти домінують, можна було б очікувати, що подвоєння часу роботи значно зменшить фіксовані затрати, оскільки буде набагато більше часу для виплати цих затрат. Однак на практиці це не так. Комерційні кредити повинні виплачуватися протягом не більше п'ятнадцяти - двадцяти років, а в розрахунках грошового потоку (з урахуванням дисконту) для періоду понад десять - п'ятнадцять років наперед затрати і доходи мають малу вагу (див. Додаток 1).

Існує тенденція до подовження терміну експлуатації існуючих станцій, причому очікується, що станції типу PWR будуть в експлуатації сорок років і більше, а не, скажімо, тридцять років, як передбачено в проектній документації. Однак не треба думати, що це даватиме дешеву електроенергію через те, що, здавалось би, капітальні затрати вже оплачені. Продовження терміну експлуатації може потребувати значних нових затрат для заміни зношеного обладнання і для приведення станції у відповідність до нових стандартів безпеки. Продовження терміну експлуатації не завжди можливе; наприклад, очікується, що британські реактори типу AGR з проектним терміном роботи 25 років будуть в експлуатації тридцять п'ять років, але продовження терміну після цього вважається неможливим через проблеми з блоками графітового сповільнювача.

3.8 Вартість повного виведення атомних станцій з експлуатації і забезпечення фондів для цього

І те й інше дуже важко оцінити, оскільки досвід виведення станцій промислового типу дуже малий, а вартість утилізації відходів (особливо середньо- та довгоживучих) ще не відома (див. Додаток 4). Однак навіть схеми, які забезпечують дуже велику впевненість у тому, що кошти будуть в наявності, коли в них виникне потреба, не призводять до великих змін в економічних розрахунках. Наприклад, якщо перед початком експлуатації від власника будуть вимагати покласти дисконтовану суму, яка буде потрібна для виведення станції з експлуатації, це додасть лише близько 10% до затрат на будівництво. Для прикладу, окремий фонд компанії British Energy, який не покриває затрат на першу фазу виведення з експлуатації, вимагає внесків в сумі лише £20 мільйонів на рік, що додає до вартості енергії тільки приблизно 0.03 пенсів/кВт-год.

Проблема виникає, якщо затрати були з самого початку недооцінені, фонди – втрачені, або компанія розвалюється до того, як станція пропрацює очікуваний термін. Всі ці проблеми вже мали місце у Британії. Протягом останніх пари десятиліть очікувані затрати на виведення зросли у реальному вираженні кількаразово. У 1990р., коли була приватизована CEGB, одержані від споживачів накопичені на рахунках кошти не були передані компанії-наступнику, Nuclear Electric. Субсидія, яка застосовувалася з 1990р. до 1996р., яку Michael Heseltine⁴³ описав як призначену для "виведення з експлуатації старих, недостатньо безпечних атомних станцій", фактично була використана компанією, яка володіла станцією, як грошовий потік, а невитрачений залишок зараз вже поглинув бюджет⁴⁴. Колапс British Energy означає, що значна частина затрат на виведення буде оплачена майбутніми платниками податків.

⁴³ M. Heseltine, President of the Board of Trade, Hansard, October 19, 1992

⁴⁴ Treasury

Таблиця 5. Ліміти відповідальності⁴⁵ для країн ОЕСР станом на вересень 2001р.

Країна	Ліміти відповідальності згідно національного законодавства ^a	Вимоги до фінансової безпеки ⁴⁶ a, b
Бельгія	298 млн євро	2,500 млн євро ^c
Фінляндія	250 млн євро	
Франція	92 млн євро	
Німеччина	необмежена	
Великобрит.	227 млн євро	
Нідерланди	340 млн євро	674 млн євро
Іспанія	150 млн євро	
Швейцарія	необмежена	
Словаччина	47 млн євро	
Чеська Респ.	177 млн євро	
Угорщина	143 млн євро	226 млн євро
Канада	54 млн євро	
США	10,937 млн євро	
Мексика	12 млн євро	
Японія	необмежена	
Корея	4,293 млн євро	538 млн євро

Джерело: Unofficial Statistics (неофіційна статистика) – OECD/NEA, Legal Affairs

Примітки: а) використовуючи офіційний курс від 06.2001 до 06.2002, б) якщо відрізняється від лімітів відповідальності, с) 256 млн євро страховка, 2.5 млрд євро кошти оператора, 179 млн євро від Брюссельської поправки до Паризької Конвенції.

3.9 Страхування і відповідальність⁴⁷

Цю тему переслідують численні суперечності, оскільки зараз відповідальність власників станції обмежена міжнародним договором лише до невеликої частини реальних збитків від великої ядерної аварії. Віденський Договір, підписаний у 1963р. і змінений в 1997р., обмежує відповідальність оператора атомної станції до 300 мільйонів доларів Спеціальних прав запозичення (Special Drawing Rights). На сьогодні уряд Великобританії страхує залишковий ризик понад 140 мільйонів фунтів, хоч і очікується, що цей ліміт підвищиться згідно Паризької і Брюссельської Конвенцій до 700 мільйонів євро (£500 мільйонів). Обмеження відповідальності розглядалося як суттєво важливе для розвитку ядерної енергетики, але можна вважати його і великою субсидією. Комісія з вивчення питань сталої енергетики⁴⁸ Німецького Бундестагу⁴⁹ підбрала дані щодо лімітів відповідальності в країнах ОЕСР (див. Таблицю 5), яка показує широкий діапазон відповідальності від дуже малих сум (наприклад, Мексика) до набагато вищих (наприклад, Німеччина). Масштаб збитків, завданих, наприклад, Чорнобильською аварією, які можуть досягати кількох сотень мільярдів фунтів (оцінювання вартості втраченого життя чи працездатності викликає природне заперечення, але для цілей страхування воно необхідне) означає, що звичайне покриття за рахунок страховки навряд чи буде доступне, а навіть якщо воно було б, його не можна вважати надійним, бо велика аварія збанкрутить страхові компанії.

Були також пропозиції, що "вклади на катастрофу"⁵⁰ можуть стати механізмом, завдяки якому власники станцій зможуть надавати надійне покриття фінансових збитків від аварій. "Вклад на катастрофу" є високодохідним застрахованим вкладом з додатковим положенням щодо того, що

⁴⁵ liability limits

⁴⁶ Financial security requirements

⁴⁷ liability

⁴⁸ Study Commission on Sustainable Energy

⁴⁹ Deutscher Bundestag (2002). Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung. Bericht der Enquete-Kommission. Zur Sache 6/2002. Deutscher Bundestag: Berlin. Chapter 3.3.2, Table 3.3, Page 232. <http://dip.bundestag.de/btd/14/094/1409400.pdf>

⁵⁰ catastrophe bonds

відсотки та/або виплата вкладу можуть бути затримані, або і взагалі втрачені у результаті катастрофи, спричиненої, наприклад, землетрусом. Чи може такий підхід слугувати надійним засобом страхування на випадок ядерних аварій, і який вплив він може мати на економіку атомної енергетики - важко сказати до того, коли будуть подані конкретні пропозиції.

4. Останні дослідження вартості атомної енергетики, і чому вони відрізняються

Протягом останніх трьох-чотирьох років було виконано цілий ряд досліджень економіки ядерної енергетики, а саме:

1. Травень 2000: "Роль атомної енергії в підсиленні енергетичної безпеки Японії," James A Baker III, Інститут суспільної політики (Institute for Public Policy), Rice University
2. 2002: "Економічний аналіз 5-го фінського реактора". Lappeenranta University of Technology (LUT).
3. Лютий 2002: "Економіка атомної енергії," Відділ продуктивності і інновацій Великобританії (UK Performance and Innovation Unit)
4. Вересень 2002: "Бізнес-портфель перших замовлень нових ядерних реакторів", Scully Capital
5. Лютий 2003: "Майбутнє атомної енергетики: міждисциплінарне дослідження MIT⁵¹"
6. Березень 2004: "Вартість виробництва електроенергії електроенергії," Королівська інженерна академія⁵²
7. Серпень 2004: "Економічне майбутнє ядерної енергетики," Університет Чикаго, дослідження профінансоване Департаментом енергетики США
8. Серпень 2004: "Порівняння вивірених затрат на виробництво електроенергії альтернативними технологіями, для покриття базових потреб в Онтаріо," Канадський інститут енергетичних досліджень⁵³; підготовлено для Канадської ядерної асоціації⁵⁴
9. Березень 2005: "Прогнозна вартість виробництва електроенергії електроенергії: уточнені оцінки 2005р.," IEA/NEA
10. Квітень 2005: "Бізнес-портфель перших замовлень нових ядерних реакторів," OXERA

Таблиця 6 (стор. 33) підсумовує основні припущення, зроблені в кожному з цих досліджень.

4.1 Університет Rice

Дослідження Rice University вивчає стратегічні питання забезпечення енергетичної безпеки Японії. Воно використовує прогноз сумарної вартості спорудження і запуску станцій, які будуть зведені в 2010р., підготовлений Центральним дослідницьким інститутом електроенергетики Японії (CRIEPI)⁵⁵. Ці дані дають вартість 5 пенсів/кВт⁵⁶. Однак на цю цифру треба дивитися в контексті дуже високої ціни на електроенергію в Японії, яку частково пов'язують з високою вартістю йени, і без детального розгляду всіх припущень CRIEPI важко дійти до якихось конкретних висновків.

4.2 Технологічний університет Lappeenranta

Дослідження університету Lappeenranta широко публікувалося після прийняття рішення розпочати роботи по станції Олкілуото. Незважаючи на неповноту розкриття деяких аспектів через їх бізнес-конфіденційність, можна визначити, що дуже низька вартість капіталу, низькі операційні затрати і високий коефіцієнт навантаження ведуть до низької вартості спорудження станції в цілому. Замовлення станції Олкілуото обговорюється в розділі 5.1.1.

4.3 Відділ продуктивності та інновацій Великобританії⁵⁷

⁵¹ Массачусетський технологічний інститут - прим. перекл

⁵² The Royal Academy of Engineers

⁵³ Canadian Energy Research Institute

⁵⁴ Canadian Nuclear Association

⁵⁵ Japanese Central Research Institute of Electric Power Industry

⁵⁶ Японські оцінки переведені в фунти по курсу £1=200 єн.

⁵⁷ Performance and Innovation Unit

Відділ продуктивності та інновацій Кабінету міністрів Великобританії розглянув економіку ядерної енергетики в 2002р. у рамках перегляду урядової енергетичної політики, який привів до появи т. зв. Білої Книги⁵⁸ 2003 року. Вона оцінює вартість виробництва на станції Sizewell B без врахування того, що вона перша в своїй серії (що, за оцінками, приводить до зменшення вартості спорудження станції до £2,250/кВт при загальній вартості 2.7 мільярдів фунтів), на рівні бпенсів/кВт, якщо використати облікову ставку 12 процентів. Відділ також наводить прогнози, представлені British Energy та BNFL, з використанням загальноприйнятих припущень щодо облікової ставки. Важко тут подати всю інформацію, яка є у звіті Відділу. В таблиці представлена вартість для восьмого блоку, який має будуватися як парний з використанням технології AP-1000. Передбачається, що до восьмого блоку всі початкові витрати на запуск серії вже будуть зроблені, і буде використовуватися т. зв. "стабілізована вартість". Звіт використовує припущення, зроблені BNFL, але з припущенням Відділу щодо облікової ставки 8% (що відображає ситуацію, коли станція будується при дуже малих ризиках, наприклад, коли вся вартість в кінці покладається на споживача) і 15% (що відповідає спорудженню станції в умовах набагато вищого комерційного ризику). Варіант з 8% розрахований на основі 15-річного терміну роботи станції (щоб відобразити імовірний термін комерційної позики) і 30-річного загального терміну експлуатації, в той час як 15% варіант показано лише з 15-річним терміном життя. Якщо врахувати, що затрати або доходи, які будуть мати місце через 20 років, становлять лише 6% від недисконтованої вартості, а ті ж самі доходи після 30 років - усього 1.5% недисконтованої вартості в розрахунках ДПП (див. Додаток 1), різниця між розрахунками для п'ятнадцяти і тридцяти років, очевидно, буде малою. Оцінки вартості в тому випадку, якщо лише один блок буде споруджено, вищі на 40-50%, оскільки передбачається, що затрати на перший в серії блок будуть вищими на приблизно 300 мільйонів фунтів.

Багато припущень, таких як вартість спорудження, потрапляють до категорії комерційно чутливих, і не публікуються. Однак Відділ заявляє, що оцінки BNFL та British Energy щодо вартості спорудження менші, ніж £840/кВт. Щодо коефіцієнту навантаження, цифри також конфіденційні, але Відділ заявляє, що планований коефіцієнт буде істотно вищим 80 процентів.

4.4 Scully Capital

Дослідження Scully було замовлено Департаментом енергетики США, воно розглядає вартість виробництва електроенергії (енерговиробництва) реакторами PWR (AP-1000) потужністю 1100кВт, при чотирьох припущеннях щодо затрат на будівництво: 1, 1.2, 1.4 і 1.6 мільярдів доларів, що еквівалентно £500/кВт, £600/кВт, £700/кВт і £800/кВт відповідно. На відміну від інших доповідей, підхід Scully полягає в тому, щоб спрогнозувати оптову ціну на електроенергію і подивитися, якого рівня прибутковості могла б досягнути станція при планованому коефіцієнту навантаження. При ринковій ціні на електроенергію \$35/МВт-год (1.95пенсів/кВт-год), атомна станція досягла б внутрішньої норми прибутковості, з врахуванням інфляції, 7,3-10,7 процентів, в залежності від вартості спорудження. Дослідження потім порівнює ці цифри з середнім показником по сектору – 10-12 процентів. Лише вартість в 1 мільярд дозволяє потрапити в цей діапазон. Проведено аналіз чутливості до ринкових цін на електроенергію, до коефіцієнта навантаження, ціни на паливо і тривалості спорудження. Існують також і інші важливі чинники, такі як фінансові аспекти, пропорція боргу до майна та вартість запозичення.

4.5 MIT

Дослідження Массачусетського технологічного інституту (MIT) було дуже детальним і престижним дослідженням вартості виробництва електроенергії на атомних станціях у порівнянні до інших варіантів виробництва електроенергії, таких як газотурбінні станції (CCGT⁵⁹). Воно має дуже детальні припущення щодо важливих елементів. Щодо експлуатаційних затрат, то воно передбачає їх на рівні, на 25 % нижчому, ніж середні для існуючих станцій, через конкурентний тиск на генеруючі компанії. Щодо затрат на будівництво, то дослідження визнає, що у ньому передбачаються затрати набагато нижчі, ніж затрати на недавно споруджені в США станції (хоча

⁵⁸ White Paper

⁵⁹ Combined Cycle Gas Turbine

ці станції були споруджені приблизно двадцять років назад). Щодо коефіцієнту навантаження, дослідження розглядає два варіанта - 85% як верхній рівень, і 75% - як нижній.

Припущення щодо 85% засноване на хороших показниках американських станцій в останні роки, а 75% варіант враховує, що для досягнення такої гарної роботи знадобилося багато років. Детальні припущення щодо виведення з експлуатації не наведені, але можна припустити, що вони базуються на загальноприйнятій практиці, яка вимагає для цього окремого фонду. Вартість виведення не подається.

Повідомляється, що прогноз найбільш чутливий до коефіцієнту навантаження і до загального терміну роботи станції, хоча, враховуючи відносно високу вартість капіталу, збільшення терміну експлуатації дає лише невелику зміну загальної вартості (близько 5%), в той час як зміна коефіцієнту навантаження приводить до набагато більших змін (10-15%). В усіх випадках, варіанти виробництва електроенергії за рахунок газу і вугілля суттєво дешевші, ніж ядерна енергія, до 45% для газу і до 35% для вугілля. Навіть зменшення вартості будівництва на 25%, часу спорудження - на 12 місяців і ціни капіталу - до 10% не усуває цей розрив між ядерною технологією і газом та вугіллям.

4.6 Королівська інженерна академія

У доповіді Королівської інженерної академії порівнювався цілий спектр технологій енерговиробництва, і було знайдено, що вартість електроенергії від атомної станції дуже близька до вартості енергії від станції, яка працює на газі, на 10-30% нижча від вугілля (в залежності від того, яка технологія використовується на вугільній станції), і складає приблизно третину від вартості енергії на відновлювальних джерелах. Доповідь припускає, що є три імовірних варіанти реактора: EPR, AP-1000 і ACR. В оцінках складових вартості доповідь дуже спирається на дослідження MIT, хоч і не в усіх випадках, посилаючись на "інженерну оцінку" там, де є розходження. Наприклад, витрати на експлуатацію вона прогнозує на рівні майже на 50% нижчому, ніж MIT⁶⁰. У звіті сказано, що на виведення з експлуатації передбачені кошти, які входять в суму загальних капітальних витрат, але прийняті припущення не деталізуються. Припущення цієї доповіді здаються для всіх параметрів стабільно оптимістичними, і через це низька вартість виробництва не викликає здивування.

4.7 Університет Чикаго

Дослідження Університету Чикаго розглядає цілу низку оцінок вартості атомної енергетики, але не виводить власної оцінки. У рамках свого "безстороннього" сценарію, воно розраховує усереднену вартість електроенергії для трьох різних варіантів станцій потужністю 1000МВт - найдорожчим є реактор типу EPR, замовлений для Олкілуото, середній випадок представляє реактор, для якого доведеться витратити додаткові кошти через те, що він буде першим в серії (наприклад, AP-1000), і найдешевший реактор, для якого кошти на "перший в серії" вже затрачені (наприклад, ABWR або ACR-700). Результати, приведені в таблиці, недостатньо адекватно підсумовують результати дослідження, в якому також оцінюється чутливість до широкого спектру чинників, але вони добре ілюструють той факт, що навіть при надзвичайно нижчій вартості спорудження відносно висока облікова ставка все одно матиме значний вплив на загальну вартість.

4.8 Канадський інститут енергетичних досліджень⁶¹

Дослідження Канадського інституту енергетичних досліджень порівнює прогнозу вартість виробництва електроенергії на вугільних і газових станціях з вартістю виробництва електроенергії від пари блоків Candu-6 загальною потужністю 1346МВт, від реакторів Candu сучасного типу і від пари блоків типу ACR-700 (сумарно 1406МВт) - реакторів Candu III покоління⁶². Ми беремо варіант з ACR-700, оскільки за прогнозом він буде дешевшим, ніж Candu-6. Передбачається, що затрати на виведення з експлуатації будуть складати близько £250/кВт, а відрахування на це

⁶⁰ Навіть прогноз MIT дає значне зменшення нинішніх затрат (на 25 відсотків), яке сталося завдяки конкурентним силам. Однак, облікова ставка, вибрана Академією, відповідає ситуації з повним відшкодуванням коштів.

⁶¹ Canadian Energy Research Institute

⁶² Суми в канадських доларах перераховані по курсу £1=C\$2.20

робляться у спеціальний фонд протягом усього часу роботи станції, у сумі 3,6 мільйонів фунтів на рік протягом 30 років, або 0.03 пенсів/кВт-год. Загальна вартість відносно низька, а більшість припущень подібна до тих, які прийняті в інших дослідженнях.

4.9 Міжнародне енергетичне агентство/Агентство атомної енергії (International Energy Agency/Nuclear Energy Agency)

Дослідження IEA/NEA базується на відповідях національних агенцій на анкету, в якій ставилися питання про вартість різних варіантів виробництва електроенергії. Оцінити цей звіт дуже важко через величезну різницю в припущеннях різних країн: країни Східної Європи часто подають дуже низьку вартість, а Японія - дуже високу. Ключовим фактором є використана дуже низька облікова ставка, яка при відносно оптимістичному прогнозі щодо продуктивності дає низьку вартість виробництва електроенергії.

4.10 OXERA⁶³

Після доповіді OXERA, яка була презентована в квітні 2005р., з'явилася наступна доповідь в червні, котра подавала більше подробиць щодо припущень, на яких базувалися оцінки вартості⁶⁴. Доповідь OXERA містить дуже детальний фінансовий аналіз економічних питань, але щодо технічних показників, вона здебільшого покладається на інші джерела. Наприклад, надзвичайно високе припущення щодо коефіцієнта навантаження - 95% - взято без будь-якого обґрунтування. При розрахунках норми прибутковості, яка могла б бути досягнута при певній ціні на електроенергію, доповідь OXERA використовує той самий підхід, що і доповідь Scully. При ціні на електроенергію основного навантаження £27–33/МВт-год, що приблизно на 50% вище, ніж одержує зараз British Energy, внутрішня норма прибутковості становила б 8-11% для одного реактора (в залежності від співвідношення боргу і власних коштів). Для програми з восьми блоків прибутковість для останніх блоків була б вищою за 15%. Варто зауважити, що хоч взята вартість спорудження і більша, ніж у деяких прогнозах, вона все ж істотно нижча, ніж для станції Sizewell і нижча, ніж заявлена вартість Олкілуото. Припущення цієї доповіді щодо коефіцієнта навантаження і експлуатаційних витрат, взяті частково з доповіді IEA/NEA і доповіді Scully Capital, вимагають величезних удосконалень в станціях нинішнього покоління. На основі цих прогнозів вартості і вартості поточної урядової програми на відновлювані джерела (які OXERA оцінює на рівні 12 мільярдів фунтів) OXERA приходить до висновку, що ядерна програма досягла б таких самих показників зменшення викидів двоокису вуглецю за суму 4.4 мільярди доларів плюс витрати на страхування громадянського ризику. Сума в 4.4 мільярди фунтів складається з грантів на капітал £1.1 мільярда і £3.3 мільярда на гарантії по позикам. OXERA не оцінює вартість страхування громадянського ризику. Як же можна було б виконати нову британську програму атомних станцій?

⁶³ Oxera Consulting Ltd, незалежна консультативна компанія, Оксфорд, Великобританія

⁶⁴ OXERA (2005) "Фінансування ядерної технології: моделювання вартості нового будівництва."

5. Потреба в державних субсидіях та їх розмір

Кілька послідовних досліджень Британського уряду в 1989, 1995 і 2002рр. приводять до висновку, що на лібералізованому енергетичному ринку, електрогенеруючі компанії не будуватимуть атомні станції без державних субсидій і державних гарантій. В більшості країн, в яких ліквідовано монопольний статус генеруючих компаній, такі ж висновки будуть справедливими. Недавнє замовлення в Фінляндії з очевидністю спростовує такі очікування. Але, як вже пояснювалося вище, особливий статус замовника станції як неприбуткової компанії, якою володіють промислові компанії, що купуватимуть енергію станції, означає наявність у Фінляндії особливих умов. Очевидно, це не той приклад, який наслідуватимуть інші країни.

Сектори, які можуть потребувати державних субсидій і гарантій - це в основному ті, що не повністю контролюються власником станції. Вони включають:

- Затрати на будівництво. Затрати на будівництво нової станції будуть великими, і існуватиме значний ризик перевищення запланованої вартості. Уряд мав би визначити верхню межу затрат, які повинен нести приватний інвестор.
- Продуктивність роботи. Існуватиме значний ризик того, що продуктивність виявиться нижчою, ніж прогнозована. Надійність знаходиться значною мірою під контролем власника, і не ясно, чи будуть інвестори мати достатню впевненість у своїх можливостях, щоб взяти на себе ризик нижчої надійності, ніж очікувана.
- Затрати на експлуатацію, не пов'язані з паливом. Подібно до попереднього, вони значною мірою перебувають під контролем власника, що цілком може погодитися на такий ризик.
- Вартість ядерного палива. Придбання палива, як правило, не розглядалося як ризикована діяльність. Уран легко накопичити на складах, а з ризиком підвищення ціни на паливо можна легко справитися. Натомість питання затрат на утилізацію відпрацьованого палива (припускаючи, що переробка не робиться) набагато проблематичніше, і власники станцій можуть вимагати від уряду встановлення якоїсь верхньої межі на затрати на утилізацію, подібно до існуючих у США положень.
- Вартість повного виведення з експлуатації. Важко спрогнозувати конкретні цифри, але в майбутньому ця вартість буде зростати. Видається, що оперувати добре спланованим окремим фондом на виведення з експлуатації буде порівняно неважко, але якщо досвід виведення і утилізації відходів виявить в кінці кінців, що нинішні оцінки суттєво занижені, або якщо прибутки на інвестований капітал фонду виявляться меншими, ніж очікувалося, то може виникнути потреба у значному збільшенні внесків до фонду. Приватні інвестори можуть через це вимагати визначення верхньої межі своїх внесків.

Гарантії мали б бути особливо широкими і високими для перших блоків нових типів, на які падають значні додаткові витрати у зв'язку з новизною технології. Якщо ж будуватимуться серії станцій, і досвід їх експлуатації виявиться позитивним, то, можливо, ринок буде готовий взяти на себе і більший ризик, хоча політичних зобов'язань розвивати ядерні енергетику ні в якому разі не вистачить, щоб завершити програму. Треба пам'ятати, що за часів урядів Рейгана і Тетчер, які обіцяли енергійне відродження ядерного сектору, в ядерній енергетиці стався різкий спад.

6. Висновки

Протягом останніх щонайменше двадцяти років рівень замовлення нових атомних станцій в усьому світі був дуже низьким. Причини цього складні і включають опозицію громадськості новим атомним станціям та надлишкову потужність електростанцій на багатьох потенційних ринках. Однак, погані економічні результати багатьох існуючих станцій також були важливим фактором. Ця ситуація ще погіршилася у зв'язку з переходом за останнє десятиліття до конкурентних енергоринків, що віддають перевагу варіантам з низькими капітальними затратами, які до того ж можна швидко збудувати і ефективність яких може бути гарантована - характеристики, які не властиві сучасним конструкціям атомних станцій. Декілька станцій, які зараз споруджуються, використовують старі типи реакторів, що не підходять для нових замовлень

на Заході. До того ж, вони знаходяться в країнах, де реформа сектора електроенергетики все ще знаходиться на початковій стадії.

Що стосується Європи та Північної Америки, тут знову з'явився інтерес до нових атомних станцій. Встановлена потужність атомних станцій в Великобританії неминуче різко впаде у наступному десятилітті, зменшуючи їх вклад в загальні енергетичні потреби з 25 до 10 відсотків. Це привело до занепокоєння через те, що атомні станції (якщо уряд не втручатиметься) будуть замінюватися станціями на газі, значно збільшуючи викиди парникових газів Великобританією. Суттєво, що багато провідних країн, включаючи Швецію, Італію, Бельгію, Німеччину, Нідерланди, Іспанію та Швейцарію, прийняли реальну або де-факто політику ліквідації атомної енергетики. Очевидно, графіки закриття станцій в цих країнах будуть подовжені. Втім, у наступному десятилітті жодна з Європейських країн не відчує особливо різкого падіння потужностей атомних станцій.

В Сполучених Штатах адміністрація Буша намагається справитися з одним із економічних ризиків - непевністю щодо тривалості і вартості ліцензування, шляхом федеральних субсидій. Ще не ясно, чи вистачить цього для того, аби подолати недовіру фінансових кіл до ядерної енергетики. Генеруючі компанії не можуть будувати атомні станції без безпосередньої підтримки рейтингових агентств та інвестиційних аналітиків.

Цей новий інтерес до ядерної енергії виник, незважаючи на не дуже успішні економічні результати в атомній енергетиці в багатьох країнах. Він підігривається багатьма національними і міжнародними дослідженнями, виконаними в останні роки, які прогнозують набагато нижчу вартість виробництва електроенергії за допомогою нових атомних станцій, порівняно з уже існуючими. На жаль, результати цих досліджень часто доволі суперечливі, а багато зроблених припущень виглядають малоімовірними.

Є три причини, за якими прогнозування вартості енергії, отриманої на атомній станції є складним і дискусійним процесом:

- Кілька змінних відносяться до процесів, які ще не були перевірені на промисловій основі, а саме: виведення з експлуатації, утилізація відходів, особливо для коротко-, середньо- і довгоживучих. Весь досвід ядерної енергетики свідчить, що неперевірені процеси можуть часто коштувати суттєво більше, ніж очікувалося. Через це існує значний ризик, що витрати можуть виявитись вищими за прогнозовані.
- Для деяких таких змінних не існує чіткої "правильної" відповіді. Наприклад, облікова ставка може дуже сильно мінятися, і немає якогось консенсусу щодо того, як організувати фонди і оплату повного виведення станції з експлуатації.
- Найважливіше те, що відсутні надійні, сучасні дані стосовно існуючих атомних станцій. Компанії часто приховують понесені затрати; крім того, за два минулі десятиліття було лише кілька замовлень в Західній Європі, а в Північній Америці - і взагалі жодного після приблизно 1980р. В результаті, всі сучасні нові конструкції більшою або меншою мірою неперевірені.

Протягом останніх сорока років постійно спостерігається велика розбіжність між продуктивністю роботи існуючих реакторів і прогнозом щодо продуктивності майбутніх атомних станцій. Ці очікування майже завжди виявлялися занадто оптимістичними. Найбільш значна розбіжність спостерігається зараз між прогнозованою продуктивністю наступного покоління атомних станцій і продуктивністю існуючих. Той факт, що в минулому такі очікування виявилися помилковими, не є запорукою того, що нинішні прогнози теж виявляться неправильними; він лише вимагає ставитися до прогнозів щодо значних покращень з певним скептицизмом.

Найбільш важливими є припущення щодо вартості будівництва, ефективності роботи, експлуатаційних затрат та вартості капіталу/облікової ставки.

Загально визнаною ідеєю в секторі ядерної енергетики протягом останніх десяти з лишком років було те, що вартість будівництва атомної станції мусить становити близько \$1,000/kВт для того, щоб енергія атомної станції могла конкурувати з комбінованою станцією на газі (вартість

спорудження якої становить приблизно \$500/кВт). Навіть найбільш оптимістичні дослідження не прогнозують вартість будівництва на настільки рівні, нижчому за \$1,000/кВт. Однак те, що оцінки вартості групуються біля позначки \$2,000/кВт, говорить про те, що нові проекти розроблялися з прицілом саме на таку вартість. Підвищення цін на газ протягом останніх двох років, якщо воно продовжиться, збільшить той рівень затрат на будівництво, при якому атомні станції все ще будуть конкурентоздатними, хоч і виглядає малоімовірно, що можна буде оплатити подвійну вартість будівництва. Безумовно, розробка конструкцій має проводитися незалежно від економічних рамок. Однак основні питання щодо цих розробок полягають у тому, наскільки реалістичні прогнози вони дають. Особливо уважно треба подивитися на те, наскільки величезне скорочення вартості, прогнозоване для нового покоління станцій в порівнянні з нинішнім, досягнуто за рахунок раціоналізації конструкції, а наскільки - за рахунок інших заходів по економії затрат, які в майбутньому можуть виявитися не виправданими. Треба пам'ятати, що в 1960-х роках, коли економіка ядерної енергетики виявилася менш успішною, ніж очікувалося, були вжиті заходи по зменшенню затрат за рахунок матеріалів і за рахунок швидкого нарощування проектної потужності станцій - заходів, які в ретроспективі виявилися необережними через той вплив на продуктивність станцій, який вони спричинили. Наприклад, парогенератори на реакторах PWR необхідно міняти за величезні кошти із зупинкою станції майже на рік, інколи через кожні менш ніж 15 років, тому що використані матеріали були недостатньо довговічними.

Серед прогнозів, які розглядалися в цьому звіті, типова очікувана вартість будівництва становить близько \$2,000/кВт. Єдине дослідження, яке очевидно базується на реальній контрактній ціні, а саме, дослідження університету Lappeenranta, використовує значно вищий прогноз вартості будівництва. Варто також зауважити, що пропозиція, подана на будівництво станції Олкліуото, яка є основою дослідження університету Lappeenranta, часто вважається нижчою за економічно обґрунтовану ціну.

Іншим пунктом, за рахунок якого очікуються значні покращення показників, є непаливні експлуатаційні видатки, де прогнози часто дають лише 40% нинішніх британських витрат, або близько 70% американських витрат. Прогнози продуктивності станцій, як правило, передбачають коефіцієнти навантаження 90%, набагато вищі за ті, що досягнуті сьогодні, і які відповідають рівню найбільш надійних станцій, які існують у світі.

Однак безперечно, найбільш складним і важливим припущенням є вартість капіталу. В деяких випадках, таких як прогнози RAE і IEA/NEA, вибрані припущення були б вірогідними лише за умови, що власникам станцій дозволять повне відшкодування вартості. Американські прогнози використовують більш тонкі методи визначення вартості капіталу, але з урахуванням відсутності прогресу в більшій частині Сполучених Штатів із впровадженням конкурентності на ринку електроенергії, не ясно, чи відображають ці дослідження вплив відкриття ринку електроенергії для конкуренції. Якщо не відбудеться повернення до монопольної структури електроенергетичного сектору - події, в нинішніх умовах майже немислимої, - це означатиме, що насправді власників будуть субсидувати платники податків (якщо уряд візьме на себе частину видатків) або споживачі (якщо буде знову введена субсидія з боку споживачів). Важко відповісти, чи можуть подібні схеми бути політично життєздатними і прийнятними в рамках діючого законодавства Європейського Союзу, яке чітко (за винятком особливих випадків) регулює державну підтримку.

Якщо від власника станції буде вимагатися прийняття значного економічного ризику, то дуже ймовірна реальна облікова ставка складатиме щонайменше 15%, яку використав в своєму дослідженні Відділ продуктивності і інновацій. Навіть з дуже оптимістичними припущеннями щодо затрат на будівництво та експлуатацію (наприклад, як у прогнозах Відділу чи Університету Чикаго) це приведе до вартості виробництва електроенергії, імовірно, на рівні 4 пенсів/кВт. Якщо ж атомні станції таки будуть споруджуватися, здається очевидним, що будуть потрібні значні державні субсидії і гарантії. Вони можуть бути необхідними для таких складових, як:

- затрати на будівництво
- ефективність роботи станції
- непов'язані з паливом експлуатаційні витрати
- витрати на ядерне паливо

- вартість виведення з експлуатації

Можливо також, що потрібні будуть і комерційні гарантії того, що вироблена енергія станцій буде закуповуватися за гарантованою ціною. Здається сумнівним, що такий широкий пакет "державної допомоги" буде допустимим в рамках закону Євросоюзу про конкуренцію.

Таблиця 6. Порівняння припущень, зроблених у недавніх прогнозах щодо вартості виробництва енергії на атомних станціях

Ким підготовлений прогноз	Вартість спорудження (дол/кВт)	Тривалість спорудження (місяців)	Вартість капіталу (% , реальна)	Коефіцієнт навантаження	Непаливні операційні затрати, пенсів/кВт-год	Вартість палива (пенсів/кВт-год)	Термін експлуатації (років)	Схема виведення	Вартість виробництва електроенергії (пенсів/кВт-год)
Sizewell B	4050 5400	86	-	84	2.07	1.26	40	Частково окремий фонд, частково грошовий потік	6 ?
Університет Rice									5.0
Університет Lappeenranta	~2340		5	91	0.9	0.36	60		1.6
Відділ продуктивності і інновацій	<1500	-	8 8 15	>80			30 15 15		2.31 2.83 3.79
Scully Capital	900 1080 1260 1440	60		90	1.0	0.5	40	260 мільйонів фунтів накопичених за сорок років роботи станції	
Масачусетський технологічний інститут	2000	60	11.5	85 75	1.5	-	40 25		3.7 4.4
Королівська інж. академія	2070	60	7.5	90	0.80	0.72	40	Включені в вартість спорудження	2.3
Університет Чикаго	1000 1500 1800	84	12.5	85	1.0	0.54	40	195 мільйонів фунтів	2.9 3.4 3.9
Канадська ядерна АЕС.	1920	72	10	90	0.88	0.45	30	Фонд. 0.03пенсів/кВт-год	3.3
IAE/NEA	2000-4500	60-120	5 10	85	0.68-1.6	0.27-1.17	40	Включені в вартість спорудження	1.2-2.7 1.8-3.8
OXERA	2950 2070			95	0.63	0.54	40	500 мільйонів фунтів в фонд після 40 років	

Примітки:

1. Експлуатаційні витрати на станцію Sizewell B взяті, як середнє по усім станціям компанії British Energy, включаючи сім реакторів AGR та реактор PWR станції Sizewell B
2. Експлуатаційні затрати в прогнозі Масачусетського технологічного інституту включають паливо.

Додаток 1: Дисконтування, вартість капіталу і необхідна окупність

Особливо складним пунктом економіки ядерної енергетики є необхідність опрацювати і знаходити спільну основу для порівняння потоків доходу і затрат для різних періодів експлуатації атомної станції. У випадку британських станцій, час від розміщення замовлення на реактор до завершення повного виведення його з експлуатації може охоплювати більше 200 років.

Прийнято порівнювати потоки доходів і видатків, які мають місце в різні періоди часу, з використанням методів дисконтованого грошового потоку (ДГП). Ці методи базуються на інтуїтивно зрозумілому припущенні, що дохід або витрати, якщо вони стануться зараз, повинні важити більше, ніж дохід або витрати в майбутньому.

Наприклад, плата по борговому зобов'язанню, яке потрібно оплатити зразу, буде дорівнювати всій сумі зобов'язання. Але якщо таке ж зобов'язання треба оплатити протягом, скажімо, десяти років, то можна інвестувати якусь суму і використати зароблені відсотки для оплати. В аналізі ДГП всі доходи і видатки в кожний період часу приводяться до спільного знаменника шляхом "дисконтування". Якщо дохід \$100 буде одержано протягом року, а "облікова ставка" складає 5%, то "чиста поточна вартість" цього доходу складає \$95.23: сума \$95.23 заробила б протягом року \$4.77, що й дало б в кінці \$100. Облікова ставка звичайно розглядається як "альтернативна вартість" (opportunity cost) грошей, іншими словами, як ставка доходу (без інфляції), яка була б зароблена при інвестуванні в щось інше. Хоча цей підхід видається розумним для періоду порядку десяти років і при відносно низьких облікових ставках, у випадку довгих періодів і високих облікових ставок результати дисконтування можуть бути вражаючими, і взяті за основу припущення треба дуже ретельно обдумати. Наприклад, якщо облікова ставка - 15%, поточна вартість \$100 (одержаних чи витрачених через десять років) складає лише \$12.28. Поточна вартість тієї ж суми через 100р., навіть при обліковій ставці 3%, буде лише \$5.20, а при обліковій ставці 15% затрати або доходи через більш ніж 15 років мають нульову цінність при нормальному економічному аналізі (див. Таблицю 7).

Таблиця 7. Вплив дисконтування: чиста поточна вартість

Період дисконтування (роки)	3%	15%
5	0.86	0.50
10	0.74	0.25
15	0.64	0.12
20	0.55	0.061
30	0.41	0.015
50	0.23	0.00092
100	0.052	-
150	0.012	-

Джерело: розрахунки автора

Коли ми застосуємо це до атомних станцій, які працюють в конкурентному середовищі, де вартість капіталу є дуже високою, це означатиме, що затрати і доходи, які матимуть місце у майбутньому через, скажімо, більш ніж десять років, будуть мати дуже мале значення для оцінки економічних показників атомної електростанції. Внаслідок цього, збільшення тривалості роботи станції з тридцяти років до шестидесяти принесе малу вигоду, а витрати на переоснащення станції після, скажімо, п'ятнадцяти років, також матимуть малий ефект.

Щодо повного виведення станції з експлуатації, то найбільш дорога стадія його, згідно з планами Великобританії, не почнеться раніше, ніж через 135 років після закриття станції. Це означає, що дуже велика вартість виведення має дуже малий вплив, навіть якщо взяти малу облікову ставку, яка матиме місце при вкладанні коштів у дуже надійне місце з малим процентом, на рівні 3%. Якщо ми припустимо, що на повне виведення станції Magnox буде потрібно \$1.8 мільярда, і

завершальна стадія коштуватиме 65% загальної (недисконтованої) суми, тобто \$1,17 мільярда, то зростання депозиту в сумі лише \$28 мільйонів, інвестованих в момент закриття станції, забезпечить оплату цієї заключної стадії виведення.

Обов'язкове припущення в методі ДГП - це те, що прийнятий рівень окупності буде діяти протягом усього періоду. Якщо врахувати, що навіть державні облігації - які звичайно вважаються найбільш надійною формою інвестицій - розраховані лише на період 30 років, а 100-річного періоду стабільного економічного зростання взагалі не було в історії людства, то вищезгадане припущення важко вважати коректним. Отже, у випадку ядерної енергетики існує очевидний парадокс, що на стадії інвестування буде застосовуватися дуже висока облікова ставка (або очікуваний рівень окупності) - близько 15% (для того, щоб визначити, чи буде інвестиція прибутковою), а для фонду "на виведення станції" буде застосовуватися дуже низька ставка, для визначення зростання вкладених коштів. Ключовим елементом, який пояснює цей парадокс, є ризик. Інвестиції в атомні станції завжди були ризикованими через проблеми контролю затрат в період будівництва, можливе зниження продуктивності, ризик від впливу на експлуатацію зовнішніх чинників, а також через те, що багато процесів ще до кінця не перевірені (наприклад, утилізація високоактивних відходів і повне виведення з експлуатації). В конкурентному середовищі існують і додаткові ризики, викликані жорсткою структурою вартості - більшість затрат будуть зроблені незалежно від того, чи буде в кінці кінців станція експлуатуватися. Таким чином, атомні станції будуть успішним в періоди високих оптових цін (як це мало місце у випадку British Energy від 1996 до 1999р.), а при низьких оптових цінах їх результати будуть невтішними. Факт, що станція приносила гарні прибутки протягом десятиліття, не захистить її від банкрутства протягом несприятливих років, і через це фінансисти будуть розглядати інвестиції в атомну енергетику як надзвичайно ризиковані і застосовувати дуже високі процентні ставки, що відобразить можливий ризик втрати наданих кредитів.

Додаток 2: Технології ядерних реакторів

Енергетичні ядерні реактори можна розділити на декілька категорій за типом охолоджувача і сповільнювача, які вони використовують. Охолоджувач - це газ або рідина, які використовуються для перенесення тепла від активної зони реактора до турбінного генератора. Сповільнювач - це середовище, яке зменшує швидкість нейтронів таким чином, щоб вони затрималися в активній зоні на довший час, достатній для підтримання ланцюгової реакції. Існує багато можливих комбінацій охолоджувача і сповільнювача, але для реакторів, які вже експлуатуються або пропонуються, використовуються чотири можливих охолоджувача і три сповільнювача.

Найбільш звичні типи ядерних реакторів - реактор з водою під тиском (PWR⁶⁵) і реактор з киплячою водою (BWR⁶⁶). Вони були розроблені на основі реакторів підводних човнів, в них використовується звичайна вода ("легка вода") як охолоджувач і сповільнювач. Перевага води полягає у її дешевизні, хоч вона і не найкращий сповільнювач (деякі нейтрони поглинаються молекулами води, замість того щоб "відбитися" від води). В результаті, частка активного ізотопу урану в паливі повинна бути збільшена з приблизно 0.7 процента, як у природному урані, до більш ніж 3 процентів. Цей процес дорогий.

Як у охолоджувача, недолік у води в тому, що реактор розраховано на воду як рідину. Якщо в контурі охолодження станеться розрив, вода закипить і перестане бути ефективним охолоджувачем. Уникнення можливості так званих "аварій з втратою теплоносія" є, таким чином, основним пріоритетом при розробці конструкції реактора.

Основною відмінністю між реакторами PWR і BWR є те, що в реакторах BWR охолоджуваній воді дозволяється кипіти, і потім вона направляється безпосередньо в турбінний генератор, де пара, яка утворилася в активній зоні реактора, крутить турбіну. В реакторах PWR вода утримується в рідкому стані завдяки тиску.

Теплообмінник (парогенератор) використовується для передачі енергії в другий контур, де вода вже закипає і приводить в рух турбіну. Через це реактори BWR менш складні, ніж PWR, але оскільки охолоджуюча вода йде прямо на турбіну, радіоактивне забруднення станції більш значне. Більшість реакторів російського походження, ВВЕР, фактично є реакторами PWR. У Британії працює один PWR, Sizewell B, але немає реакторів типу BWR.

Деякі станції використовують як охолоджувач і сповільнювач "важку воду". Найбільш поширеним реактором такого типу є реактори Candu, спроектовані в Канаді. У важкій воді ізотоп водню - дейтерій - заміщує більш поширену форму атома. Важка вода є більш ефективним сповільнювачем, тому реактори Candu можуть використовувати природний (незбагачений) уран. Однак важка вода має не лише перевагу більшої ефективності, а й недолік великої вартості її виробництва.

Всі британські станції, за винятком Sizewell B, охолоджуються газом - двоокисом вуглецю, і використовують графіт як сповільнювач. Перше покоління станцій, Magnox, використовує природний уран, але більшість станцій не могли працювати тривалий час на повній проектній потужності, оскільки газ-охолоджувач стає трохи кислотним при контакті з водою і викликає корозію труб.

Друге покоління станцій використовує збагачений уран. Для нього також використали кращі матеріали, щоб уникнути корозії. Графіт є ефективним сповільнювачем, але у порівнянні з водою досить дорогим. Його недоліками також є горючість та тенденція давати тріщини і деформації під впливом радіації.

⁶⁵ pressurized water reactor, PWR

⁶⁶ boiling water reactor, BWR

Реактор, який використовувався в Чорнобилі, РБМК, застосовує графіт як сповільнювач і легку воду як охолоджувач.

Існує постійний інтерес до реакторів, які використовують газ гелій як охолоджувач і графіт як сповільнювач - так звані високотемпературні реактори з газовим охолодженням (HTGR). Гелій цілком інертний і ефективний, але дорогий охолоджувач. Використання гелію і графіту означає, що реактор працює при набагато вищій температурі, ніж реактори з легкою водою чи вуглекислим газом. Це дозволяє перетворити в електричну енергію більшу частину теплової енергії, а також відкриває можливості для використання частини тепла в промислових процесах, не втрачаючи можливості виробництва електроенергії. Однак, незважаючи на те, що дослідження в кількох країнах, включаючи Британію, ведуться вже більш ніж 50 років, жодної комерційної конструкції реактора так і не вдалося розробити, а побудовані демонстраційні станції показали дуже погані результати.

Останнім часом можливість використання реакторів HTGR для виробництва водню як палива, яке може замінити нафту при використанні паливних чарунок⁶⁷, привело до поновлення інтересу до реакторів HTGR. В Південній Африці розробляється одна з найбільш просунутих програм, яка адаптувала стару німецьку конструкцію і розробила реактор з кульовою засипкою⁶⁸, названий так через те, що паливо в ньому виглядає як "галька" розміром з тенісний м'яч. Однак південноафриканська програма пережила кілька періодів серйозних затримок, і дуже малоймовірно, що цей проект буде готовий для замовлень на комерційній основі до 2015 року.

⁶⁷ fuel cells

⁶⁸ Pebble Bed Modular Reactor

Додаток 3: Виробники ядерних реакторів

PWR

Є чотири основних незалежних постачальників технології PWR: Westinghouse, Combustion Engineering (CE), Babcock & Wilcox (B&W) та російські постачальники (які випускали реактори ВВЕР).

Технологія Westinghouse використовується найширше, вона також поширювалася шляхом ліцензій, основними з яких є ліцензії Framatome (Франція), Siemens (Німеччина) та Mitsubishi (Японія). Станції Westinghouse продавалися в усьому світі, хоч протягом останніх двадцяти п'яти років було тільки одне замовлення (Sizewell B), а останнє замовлення в США (яке не було пізніше анульоване) мало місце тридцять років тому. В 1998 році BNFL перевела на себе ядерний підрозділ Westinghouse, хоча в липні 2005р. BNFL підтвердила, що вона призначила N.M.Rothschild для роботи по продажу цього підрозділу Westinghouse. Як потенційні покупці розглядаються багато компаній.

Основним сучасним типом розробки Westinghouse є реактор AP-1000, хоча треба ще продати хоча б один блок. І Framatome, і Siemens стали незалежними від Westinghouse, і в 2000 році вони злили свої ядерні бізнеси, причому 66 відсотків акцій належать Framatome, а ті, що залишилися - Siemens.

Framatome зараз контролює група Арева, власником якої є французький уряд.

Основним типом є EPR⁶⁹, один реактор вже продано (Фінляндії), а продаж ще одного компанії EDF (Франція) очікується незабаром. Framatome поставив всі реактори типу PWR у Франції (близько шестидесяти) і експортував станції в Південну Африку, Корею, Китай і Бельгію. Siemens поставив десять з одинадцяти реакторів PWR, побудованих в Німеччині, і експортував PWR в Нідерланди, Швейцарію і Бразилію.

Mitsubishi постачає технологію PWR в Японію, де вони побудували двадцять два блоки, але вона ніколи не пробувала продавати станції на міжнародному ринку. Її найбільш сучасна розробка - APWR, але замовлення постійно відкладалося, і перший блок, очевидно, буде замовлений протягом найближчих 1-2 років.

Combustion Engineering випускає власний варіант PWR, який експлуатується в Сполучених Штатах, її технологія також ліцензована в Кореї. Ядерний підрозділ Combustion Engineering був придбаний ABB в 1996 році, і в свою чергу, придбаний BNFL в 1999 році. Він зараз є частиною підрозділу Westinghouse, і буде проданий разом з ним, якщо продаж Westinghouse відбудеться. Найновіша конструкція Combustion Engineering - це System 80+, але Westinghouse не намагається активно продавати станції цього типу. Однак, корейська компанія Doosan адаптувала і розвинула цю конструкцію як свій тип APR-1400. Вона зробила перші спроби продати станції в Китаї, але найбільш імовірно, що більшість наступних замовлень будуть призначатись для внутрішнього корейського ринку.

Babcock & Wilcox (B&W) постачали реактори PWR власної конструкції на ринок Сполучених Штатів. Але аварія на станції Three Mile Island, на якому працювала технологія B&W, практично поклала кінець їх зацікавленості в продажах реакторів. Єдина станція конструкції B&W, яка була побудована за межами США, була по ліцензії збудована в Німеччині, але закрита в 1988 році через проблеми з ліцензією. Станція не буде запущена знову.

BWR

Основним розробником реакторів BWR є американська компанія General Electric (GE), яка поставила велику кількість реакторів в Сполучених Штатах і на зарубіжних ринках, таких як Німеччина, Японія, Швейцарія, Іспанія і Мексика. Її ліцензії мають Siemens, Hitachi, and Toshiba. Siemens (зараз частина компанії Арева) запропонувала тип SWR на тендер для майданчика Олкілуото, але крім цього не намагається активно продавати реактори BWR.

⁶⁹ European Pressurized water Reactor - Європейський реактор з водою під тиском

Японські власники ліцензії продовжують пропонувати реактори BWR в Японії. Зараз в Японії експлуатуються або споруджуються тридцять два реактори BWR. Перші реактори серії були куплені у компанії GE, але решта вже споруджені компаніями Hitachi і Toshiba. Їхня нова розробка, реактор ABWR - перший реактор Покоління III, який пішов в серію. Перший блок було закінчено в 1996 році, є також ще два блоки вже в експлуатації і один споруджується. На Тайвані споруджуються також два реактора ABWR, які постачає GE. Однак, як і Mitsubishi, компанії Toshiba і Hitachi не робили спроб продати станції на міжнародних ринках. Крім ABWR, GE розробила також тип SBWR, але продаж протягом кількох наступних років виглядає малоймовірним.

Asea Atom (Швеція) розробила свою власну конструкцію, і дев'ять таких реакторів побудовано в Швеції і два - у Фінляндії. Asea Atom злилася з компанією Brown Boveri з утворенням ABB, яка в свою чергу була куплена BNFL в 1999 році. Зараз BNFL не просуває цей тип реактора активно.

Реактори Candu

Основний постачальник реакторів на важкій воді – канадська компанія Atomic Energy of Canada Limited (AECL), яка поставила більш ніж двадцять блоків в Канаді, а також експортувала реактори до Аргентини, Румунії, Кореї та Китаю. Вона також продавала реактори в Індію, але через питання, пов'язані з нерозповсюдженням ядерної зброї, компанія не має контактів з Індією від 1975 року. Хоча Індія продовжує будувати станції цієї конструкції сорокарічної давності. Аргентина побудувала три реактори на важкій воді: один Candu і два – німецької розробки (один з них ще не закінчено, і роботи на ньому зараз не ведуться). Основним типом для компанії AECL в майбутньому буде вдосконалений реактор Candu (Advanced Candu reactor, ACR), який передбачається випускати у двох варіантах: 750МВт (ACR-700) і 1100-1200МВт (ACR-1000). Компанія British Energy фінансово підтримувала розробку ACR-700, але це закінчилося, коли British Energy збанкрутувала в 2002 році і продала свою долю в роботі восьми канадських атомних станцій.

Додаток 4: Виведення з експлуатації⁷⁰

Виведення з експлуатації атомних станцій протягом останніх років викликало значний громадський інтерес, оскільки реактори наближаються до кінця терміну їх експлуатації, прогнози витрат на виведення зростають, і стає очевидною слабкість схем, які повинні були б забезпечити кошти на виведення.

Загальноприйнято розділяти виведення з експлуатації на три окремих фази. Протягом першої паливо вивантажується, а реактор консервується. Час, потрібний на вивантаження палива, буває різним, причому реактори, паливо яких перевантажується під час зупинки (наприклад PWR і BWR) потребують менше часу. Ці реактори сконструйовані так, що приблизно третина палива замінюється під час щорічних зупинок реактора на кілька тижнів. Реактори, які постійно перевантажуються (наприклад, AGR і Candu), потребують набагато більше часу, оскільки їх машина перезавантаження сконструйована так, щоб практично безперервно замінювати невеликі порції палива на працюючому реакторі. Це вимагає прецизійної техніки, яка рухається повільно, і вивантаження всієї активної зони може зайняти кілька років. Коли паливо вивантажене, для реактора вже не існує ризику критичності, і більша частина радіоактивності і всі високоактивні відходи вже видалені. Доки ця фаза не завершена, станція по суті повинна працювати практично з тим самим персоналом, як і коли вона експлуатувалась. Через це існує сильна економічна зацікавленість завершити першу фазу настільки швидко, наскільки це дозволяють стандарти безпеки. В технологічному плані, фаза I проста – фактично вона в осередку представляє собою операції, які постійно проводилися під час роботи станції. Зауважте, що затрати на роботу з використаним паливом не включаються в вартість фази I.

Протягом другої фази незабруднені або легко забруднені конструкції розбираються, по суті залишаючи лише реактор. Знову ж таки, це відносно звична робота, яка не вимагає якогось спеціального досвіду. З економічних міркувань вигідно відсунути її на можливо довший час, щоб зменшити суми, які треба зібрати зі споживачів для оплати: чим довше період, тим більший відсоток буде накопичений фондом виведення станції. Обмеженням тут є момент, коли цілісність споруд вже не можна гарантувати і з'являється ризик, що споруди можуть впасти і це призведе до викиду радіоактивних матеріалів. В Британії планується, що фаза II буде відсунута на сорок років після закриття станції.

Третя фаза, виймання активної зони реактора, безумовно найбільш дорога і технологічно найбільш складна. Вона вимагає використання роботів для роботи з матеріалами. Як і у випадку з фазою II, економічні міркування спонукають до відтягнення початку цієї роботи аж до того часу, поки це перестане бути безпечним, і в Британії очікується, що період відстрочки складатиме 135 років.

В кінці фази III ідеальним вважається передача землі для необмеженого використання, іншими словами, рівень радіоактивності має не перевищувати рівень незабрудненої землі. На практиці це не завжди буде можливим, і на деяких “брудних” майданчиках, таких як Dounreay в Шотландії, де працював демонстраційний реактор на швидких нейтронах, використання землі, як очікується, буде обмежено назавжди через високий рівень забруднення.

Дуже мало з реакторів, які відпрацювали повний час, були повністю виведені, так що рівень затрат на сьогодні не дуже добре визначений. Повідомлялося, що потрібні операції були успішно випробувані в невеликому масштабі, але поки вони не спрацюють на нормальній великій станції, процес не можна вважати випробуваним успішно – багато процесів в атомній енергетиці, які успішно працювали в малих масштабах, мали багато проблем при збільшенні їх до промислових масштабів.

Більшість затрат на виведення пов'язується із затратами на утилізацію напрацьованих радіоактивних відходів. Вартість утилізації відходів сучасних станцій також визначена нечітко, особливо для відходів середньої активності і низькоактивних відходів з великим періодом розпаду, оскільки немає досвіду спорудження сховищ для таких відходів.

Ця невизначеність відображається у тому, як згадуються затрати на виведення атомних станцій з експлуатації. Типово вони подаються як доля (приблизно в 25 процентів) від вартості спорудження

⁷⁰ Decommissioning

станції. Взявши до уваги, що затрати на виведення мають дуже опосередковане відношення до затрат на спорудження, це показує, як мало відомо про вартість виведення.

Типовий розподіл очікуваної недисконтованої вартості виведення може бути таким: одна шоста на фазу I, одна третя - на фазу II і половина - на фазу III. Від компанії British Energy вимагали, щоб вона створила і підтримувала окремий фонд для оплати виведення своїх станцій з експлуатації, хоча очікувалося, що фаза I буде оплачуватися з грошового потоку. BNFL, яка була власником станцій Magnox, доки вони не були передані в Агентство по виведенню атомних станцій з експлуатації⁷¹ у квітні 2005 року, є публічною компанією (тобто акції компанії продаються усім бажаючим.), і політика казначейства полягає в тому, щоб не дозволяти створення окремих фондів для публічних компаній. British Energy прийняла облікову ставку 3 відсотки для перших восьмидесяти років, а потім нульову, а BNFL прийняла облікову ставку 2,5 процентів без обмеження часу. У 2003-2004 роках British Energy збільшила свою облікову ставку до 3,5 процентів.

Якщо ми приймемо, що загальна вартість виведення становить 1.8 мільярда доларів, розбита на частини як описано вище, фаза I виконується зразу після закриття, фаза II через 40 років і фаза III через 135 років, то недисконтована і дисконтована вартість будуть виглядати так, як в таблиці 8.

Таблиця 8. Ілюстративна вартість виведення станції (мільйонів доларів)

	Недисконтована	British Energy (3%)	British Energy (3.5%)	BNFL (2.5%)
Фаза I	300	300	300	300
Фаза II	600	184	151	223
Фаза III	1200	113	76	41
Разом	1800	597	527	574

Джерело: розрахунки автора.

Очікується, що виведення з експлуатації британських реакторів з газовим охолодженням буде дуже дорогим внаслідок їх великого розміру, який приводить до утворення великої маси відходів. Реактори PWR і BWR набагато компактніші, і очікуються, що затрати на них складатимуть всього третину суми (наприклад, оцінки затрат на виведення Sizewell складають приблизно 540 мільйонів доларів).

Різноманітні методи застосовуються для того, щоб згідно з принципом "забруднювач платить", ті, хто споживає вироблену електроенергію, платили за виведення станції. Але при будь-яких методах, якщо вартість виведення з експлуатації недооцінена, виникне нестача коштів, і в результаті доведеться платити майбутнім платникам податків. В Британії прогноз вартості виведення станцій Magnox виріс приблизно в чотири рази протягом останніх двадцяти років, навіть до того, як найбільш складні роботи були розпочаті.

Найменш надійним методом накопичення фондів є накопичення на рахунок компанії, при якому компанія резервує кошти на виведення. Відрахування на закриття станції стягуються зі споживачів, але компанія сама приймає рішення, як інвестувати ці резерви, і вони існують як частина загальних активів компанії. Цей метод буде надійним лише в тому випадку, якщо можна вважати, що компанія буде існувати весь час до завершення виведення станції, і що активи, які вона накопичує, приносять принаймні той прибуток, який передбачено. Слабкість цього методу проявилася, коли компанія Central Electricity Generating Board (CEGB), яка володіла атомними станціями в Англії і Уельсі до приватизації в 1990 році, була приватизована. В рамках накопичення споживачі перерахували на рахунки компанії близько 1.7 мільярдів фунтів, але компанія була продана приблизно за третину вартості її активів, тобто фактично дві третини накопичених коштів були втрачені. Уряд не поклав на компанію-покупця жодних додаткових зобов'язань, втративши таким чином накопичені резерви.

Схоже на те, що більш надійним методом є окремий фонд. Згідно цього методу, споживачі роблять відрахування протягом усього періоду експлуатації станції, і ці кошти поступають у фонд, до якого власник станції не має доступу і який управляється незалежно. Кошти інвестуються лише в дуже надійні проекти, щоб мінімізувати ризик їх втрати. Такі інвестиції можуть приносити прибуток не

⁷¹ Nuclear Decommissioning Authority

більше трьох відсотків. Коли приходить час виведення станції з експлуатації, власник може використати накопичені в фонді кошти. Тут також є ризики, як це показує британський досвід. Так, окремий фонд компанії British Energy не покрив затрати фази I, найбільш дорогої з урахуванням дисконтування (приблизно половина), оскільки компанія прогоріла задовго до того, як станції виробили свій ресурс, і її фактично врятував уряд. Велику частку витрат на виведення станції будуть нести майбутні платники податків, яким доведеться надавати фінансування тоді, коли розпочнуться роботи по виведенню станцій.

Можливо, найменшим ризиком того, що накопичений резерв виявиться неадекватним потребам, буде створення окремого фонду одночасно з введенням станції в експлуатацію, щоб в ньому акумулювати достатньо коштів на закриття протягом очікуваного терміну роботи станції. Якщо ми припустимо термін роботи 30 років і облікову ставку 3%, то потрібна сума становитиме 40% від недисконтованої суми, потрібної на закриття.

Отже, якщо недисконтована вартість виведення з експлуатації становить близько 25% вартості будівництва, то сума, яку треба покласти у фонд, становила би близько 10% цієї вартості. Але навіть ця схема виявилася б неадекватною, якщо станцію довелося б закрити раніше або якщо витрати на виведення були недооцінені, або якщо фонди виявилися не настільки прибутковими, як очікувалося.

Вцілому, необхідні для виведення атомних станцій з експлуатації суми імовірно будуть великими. Але при використанні навіть найнадійніших схем, які забезпечують найменший ризик недостачі коштів на виведення, і якщо оцінка вартості виведення зроблена правильно, вплив вартості виведення з експлуатації на загальну вартість буде досить обмеженим в результаті впливу дисконтування.

Фонд Генріха Бьоля

Фонд Генріха Бьоля, спільно з Партією Зелених (Green Party), зі штаб-квартирою в Hackesche Höfe в серці Берліна, є юридично незалежною політичною фундацією, яка працює в дусі інтелектуальної відкритості.

Першочерговою метою Фонду є підтримка політичної освіти як в Німеччині, так і за кордоном для заохочування демократичної співпраці, соціополітичного активізму і взаєморозуміння між культурами.

Фонд також надає підтримку мистецтвам і культурі, науці і дослідженням, загальному розвитку. У своїй діяльності вона керується фундаментальними політичними засадами демократії, екології, солідарності і ненасильства.

Шляхом міжнародної співпраці з великою кількістю партнерів по проектах - наразі близько 100 проектів в майже 60 країнах - Фонд намагається підсилити екологічний і громадянський активізм на глобальному рівні, щоб інтенсифікувати обмін ідеями і досвідом, і щоб тримати нашу увагу відкритою до змін.

Співпраця Фонду Генріха Бьоля з його зарубіжними партнерами по програмах соціополітичної освіти будуватиметься на довготривалій основі. Додаткові важливі засоби міжнародної співпраці включають програми візитів, які стимулюють обмін досвідом і встановлення політичних контактів, а також базові і поглиблені програми тренінгів для відданих справі активістів.

Фонд Генріха Бьоля нараховує приблизно 180 працівників, які працюють повний час, а також близько 320 членів, які підтримують Фонд як фінансово, так і нематеріальними засобами. Зараз Виконавче Правління складається з двох членів - Ralf Fücks та Barbara Unmüßig. Доктор Birgit Laubach є виконавчим керівником (СЕО) Фонду.

Двома додатковими організаціями, які ведуть освітню роботу Фонду, є "Зелена академія" (Green Academy) та "Феміністичний інститут" (Feminist Institute).

Фонд має зарубіжні та проектні офіси в США і на арабському Близькому Сході, в Афганістані, Боснії-Герцеговині, Бразилії, Камбоджі, Хорватії, Чеській Республіці, Ель Сальвадорі, Грузії, Індії, Ізраїлі, Кенії, Лівані, Мексиці, Нігерії, Пакистані, Польщі, Росії, Південній Африці, Сербії, Таїланді, Туреччині та офіс Євросоюзу у Брюсселі.

Станом на 2005 рік Фонд має у своєму розпорядженні майже 36 мільйонів євро громадських коштів.

Heinrich Böll Foundation, Hackesche Höfe, Rosenthaler Str. 40/41, D-10178 Berlin, Germany, Tel.: 030-285 340 Fax: 030-285 31 09, E-mail: info@boell.de, Internet: www.boell.de

ЯДЕРНА ЕНЕРГІЯ: МІФ І РЕАЛЬНІСТЬ - Публікація Фондом Генріха Бьоля результатів шести тематичних досліджень з питань ядерної енергії є внеском у дебати щодо майбутнього ядерної енергії. Публікація приурочена до двадцятої річниці Чорнобильської аварії. Дослідження дають найсучасніший огляд недавніх подій і дебатів, що торкаються питань використання ядерної енергії у глобальному масштабі. Їх метою є надання кваліфікованого аналізу для осіб, які приймають рішення, журналістів, активістів і широкої громадськості.

Серія тематичних досліджень з питань ядерної енергії:

Редактор: Фелікс Крістіан Матез

Ядерна енергія: міф і реальність. Політичне резюме. Автор Г. Розенкранц

Небезпеки ядерних реакторів. Автор А. Фроггатт

Ядерний паливний цикл. Автори J. Kreuzsch, W. Neumann, D. Appel, P. Diehl

Ядерна енергія і поширення ядерної зброї. Автор O. Nassauer

Економіка ядерної енергетики. Автор S. Thomas

Ядерна енергія і зміна клімату. Автор F. Ch. Matthes

Спільна публікація з **WISE**

ТЕМАТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПРОБЛЕМ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ В ІНТЕРНЕТІ www.boell.de/nuclear