



Ядерна енергія: міф і реальність

Міф „Атомна енергія”

Небезпеки та перспективи атомної енергії.

Герд Розенкранц, кандидат технічних наук, дипломований інженер за фахом „Металознавство”, працював майже 20 років журналістом у міжрегіональних виданнях; до 2004р. - п’ять років редактором в журналі „Der Spiegel“ у відділі „Екологічна та енергетична політика”. З жовтня 2004р.- керівник об’єднання Німецької екологічної допомоги у Берліні.

Зміст

Вступ	
Нагадування: ризик забуття	
Безпека: питання використання атомної енергії	
Терористи-смертники: новий масштаб загрози	
Атомні станції: ядерні цілі в звичайній війні	
Сіамські близнюки: цивільне та військове використання атомної енергії	
Відкритий цикл	
Захист клімату за допомогою ядерної енергії: наївні поради.....	
Дешева атомна енергія: якщо держава сплачує рахунок	
Висновок: ренесанс декларацій	

Перше видання, Берлін, лютий 2006р.

©Видавництво Фонд Генріха Бьолля

Вступ

Фундаментальний конфлікт навколо атомної енергії є майже настільки ж давнім, як і її комерційне використання. Мрії її прибічників про розквіт цього виду енергії розвіялись, а велика небезпека, як і загроза зловживання нею у військових цілях, залишились. Окрім того, в світлі останніх подій нового масштабу набула проблема терористичних акцій, пов'язаних з використанням атомної енергії. Навіть потепління клімату та вичерпність викопного палива не можуть переважити проблем безпеки атомної енергії. А аварійно-стійкий реактор, на жаль, залишається поки що обіцянкою.

Спричинене людською діяльністю нагрівання атмосфери належить, без сумніву, до найбільших проблем 21-го століття. Однак існує багато шляхів її подолання, що пов'язані з меншим ризиком, ніж атомна енергія. Застосування атомної енергії не має великих шансів у майбутньому, оскільки подільні атомні елементи врешті скінчаться так само, як і викопне паливо, - вугілля, нафта чи природний газ.

Атомна енергія є технологією високого ризику не тільки з технічної, але і з фінансово-технічної точки зору. Без державних субсидій в макроекономічних умовах у неї немає шансів. Незважаючи на це, і надалі будуть існувати підприємства, які в спеціальних, встановлених державою рамкових умовах, будуть отримувати прибуток з атомної енергії. Продовження строків експлуатації старих реакторів може бути привабливими для експлуатуючих компаній з економічної точки зору, але в той же час вони на порядок підвищують ризик великих аварій. Окрім того, завжди буде існувати влада, яка розглядатиме цивільне використання розщеплення ядра в першу чергу як етап на шляху до створення власної атомної бомби, і буде прискорювати цей процес. Таким чином, атомна енергетика зі своїми високонебезпечними та вразливими до терористичних атак установками створює додаткову можливість для нападу з боку тих сил, які проявили себе 11-го вересня 2001р. І з цієї причини атомна енергія неминуче буде спричиняти непорозуміння та протистояння між людьми протягом всього часу її використання.

1. Нагадування: ризик забуття

Те, що відбувалось ввечері 10-го квітня 2003р. у басейні-сховищі відпрацьованих тепловиділяючих елементів, фатальним чином нагадувало про дві події, які вже десятки років супроводжують історію цивільного використання як лиховісне нагадування: катастрофу у Гаррісбурзі у березні 1979р. та у Чорнобилі у квітні 1986р.

Неприпустимі недоліки конструкції, недбалий нагляд, невірні інструкції з експлуатації, помилки, зумовлені стресовою ситуацією, та, не в останню чергу, наївна віра у високочутливу техніку - все це вже було відомо ще до цього вечора в Угорщині. Не тільки з досвіду Гаррісбургу та Чорнобиля, але і з досвіду установки для переробки відпрацьованого палива в британському Селлафілді, реактора-розмножувача в Мондзю, установки для переробки відпрацьованого палива в Токамура (Японія) та з Брунсбюттеля на Ельбі. Де б не працювали люди, вони ніколи не застраховані від помилок. Вони можуть вважати, що їм пощастило, якщо після чергової аварії, яку вони пояснюють „незрозумілим” збігом помилок в стресовій ситуації, вони не караються так жорстоко, як це сталося в 1986р. в Україні та сусідніх країнах. В блоці 2 атомної станції Пакш, розташованої на відстані 115 км на південь від угорської столиці Будапешт, все обмежилось перенагріванням та знищенням 30-ти високорадіоактивних тепловиділяючих елементів, які перетворились на купу випромінюючих відходів на дні наповненого водою сталюого котла, та витіканням радіоактивних інертних газів в реакторний зал, який в

паніці був залишений персоналом. Пізніше, щоб зробити приміщення доступним для персоналу, на 14 годин була включена вентиляція, і ці газу у нефільтрованому вигляді потрапили у навколишнє середовище.

Назва Пакш є символом найтяжчої катастрофи на європейському атомному реакторі з часів Чорнобиля. Перенагрівання високорадіоактивного матеріалу відбувалось до того ж за межами захисної оболонки. Але світ поза угорським кордоном практично не звернув уваги на цей інцидент, який міг би спричинити атомну катастрофу всередині мобільної очисної споруди для тепловиділяючих елементів. Вітчизняні та закордонні спеціалісти, які пізніше реконструювали події тієї ночі, приголомшено стверджували, що все могло закінчитись набагато гірше. Дивує те, що міжнародна спільнота практично ніяк не відреагувала на цей драматичний випадок. Аварія на Пакші була „прем'єрою” і в іншому плані. Вперше західно- та східноєвропейські спеціалісти разом і, можна сказати, цілеспрямовано, спричинили велику аварію внаслідок цілого ряду причин: безтурботності, помилок менеджменту та неухважності. До цього мають безпосереднє відношення конструктори та оператори німецько-французького атомного концерну Framatom-ANP (дочірнього підприємства французької фірми Aegva та німецького концерну Siemens), команди з експлуатації атомної станції радянського типу Пакш та спеціалісти угорського Наглядового відомства з питань атомної енергетики в Будапешті. На всіх них лежить частина відповідальності, і всім їм дивовижним чином пощастило її уникнути.

Коли сталось перегрівання паливної зборки, оператори в паніці направили туди потік холодної води, чим спричинили паровий вибух. За переконанням фізиків, ця обмежена, але некерована ланцюгова реакція цілком могла призвести до руйнівних наслідків у місцевості навколо Пакшу і за її межами.

2. Безпека: питання використання атомної енергії

Прихильники атомної енергії у високорозвинутих країнах з великим задоволенням відзначають, що суперечки щодо її використання вщухають у все більшій кількості країн. Під враженням зміни клімату та стрімкого зростання цін на нафту, тон цих дискусій став „більш діловим та спокійним”. Захисники атомного виробництва радять в першу чергу через те, що направленість політично-суспільного дискурсу змістилась з фундаментальних проблем безпеки ядерної техніки в бік питань економії, захисту клімату або збереження ресурсів. Атомна енергія має зайняти в суспільній свідомості місце однієї серед багатьох інших, а її використання є питанням альтернативи, як, наприклад, вибір між вугільною станцією та вітряком, вважають вони. Розщеплення ядра вписується в визначений економістами трикутник цілей дискусії навколо енергетичної політики: рентабельність, гарантії забезпечення та екологічність. Те, що в межах цього трикутника залишаються багато питань щодо доцільності використання ядерної енергії, турбує її захисників набагато менше. Вони задоволені, а їх очі випромінюють рішучість: все частіше вдається приховати великий потенціал катастроф атомної техніки за стіною з аргументів, які відволікають від принципових питань безпеки. Ця тенденція не випадкова. Вона є результатом стратегії, яку вже багато років наполегливо та свідомо переслідують компанії-експлуататори та виробники в провідних „атомних” країнах .

Вдале відволікання уваги може заспокоїти суспільні дискусії, але не зробить меншою вірогідність великих катастроф. Небезпека позапроектної аварії, тобто катастрофи, яка виходить за межі передбачуваної системами безпеки максимальної проектної аварії (МПА), та той факт, що вона ніколи не може бути виключена, була та є першопричиною фундаментального конфлікту навколо атомної енергії. На ній базуються зрештою всі

аргументи проти цієї форми перетворення енергії. З часів Гаррісбургу і Чорнобиля аварійностійкий атомний реактор залишається обіцячкою, за допомогою якої всі атомники сподівались коли-небудь досягнути суспільного прийняття їх технології. Чверть століття тому виробники озвучили ще одну велику обіцянку під кодовою назвою „ атомна станція з граничною безпекою”. Американці називали ці реактори майбутнього „walk away”, в яких оплавлення активної зони або аналогічна за наслідками аварія мала бути виключена на фізичному рівні. „Навіть у випадку найбільшої з можливих аварій ви зможете піти додому поспіяти, трохи відпочити, а потім повернутись та зайнятись нею - без паніки та хвилювання”¹, - захоплено розповідав віце-президент одного з підприємств-виробників. Амбітна заява залишилась до теперішнього часу тим, чим і була з самого початку – безвідповідальною фразою, кинутої на вітер. Вже у 1986р. німецький історик техніки Йоахім Радкау висловив припущення, що аварійностійка атомна станція є „мрією, про яку завжди згадують в кризові часи, але яка ніколи не може бути реалізована”².

Тим часом Європейська атомна компанія Euratom та 10 країн, що використовують ядерну енергію, говорять про „генерацію IV” відносно майбутнього реакторної техніки. Оснащені інноваційною технікою безпеки, реактори наступної серії вже не ті, розраховані на дурнів, прості у використанні, типи реакторів, як того бажали їх попередники. Вони мають стати вже більш рентабельними, менш габаритними, не такими вразливими до військового зловживання, та як наслідок, - прийнятними для людей. Планується, що приблизно у 2030р. перші з цих атомних станцій мають почати виробляти енергію. Такою є офіційна версія. Неофіційно деякі з її прихильників розраховують на початок комерційної експлуатації „тільки у 2040 або 2045р.”³. Тим самим ці обіцянки фатально нагадують обіцянки дослідників термоядерного синтезу. Про ядерний синтез - контрольоване злиття атомів водню на зразок того, як це відбувається на сонці, - у 1970 р казали, що приблизно у 2000р. його можна буде застосовувати для виробництва електроенергії. Сьогодні вже ніхто не розраховує на комерціалізацію до середини 21 століття, якщо це взагалі реально.

Відносно четвертого покоління реакторів, мова не йде про *абсолютну* надійність. Сьогодні всіх вже задовольняє *відносна* надійність. Зокрема, улюбленою та частовживаною фразою у неспеціалістів з числа політиків є: „Наші атомні станції - найнадійніші в світі”. Але правдивість цих висловлювань не підтверджується фактично. І дуже маловірогідно, щоб атомні станції, які почали будуватись у 60-х – 70-х роках, тобто проєктовані у 50-х та 60-х на основі тогочасних знань про технологію, могли гарантувати достатній рівень безпеки. Але поки що ніхто не заважає пропагандистам атомної енергії у Франції, США, Швеції, Японії або Південній Кореї успішно використовувати цей міф відносно власних атомних станцій. Не існує жодної національної ядерної спільноти, яка б не вважала, що їх атомні станції відповідають світовому рівню, або принаймні не робила б собі публічну рекламу. Навіть в Східній Європі все частіше говорять про те, що внаслідок модернізації протягом останніх 15 років і реактори радянського типу вже досягли західних стандартів, а в деяких аспектах навіть мають переваги. Наприклад, вони начебто вже не так чутливо реагують на порушення фізики реактору. Неважко зрозуміти загальний зміст таких формулювань: „не має ніяких підстав для хвилювань”, - запевняють атомники.

І дійсно, схвильованість зменшується як на національному, так і міжнародному рівнях. Але вирішальним питанням залишається питання ціни, яку людство готове сплатити за очевидне заспокоєння на атомному фронті. Що означає для міжнародної безпеки атомних станцій той факт, що дискусії про можливі наслідки таких аварій, як наприклад на Пакш, точаться лише в тісних колах експертів? Адже навіть захисники ядерної енергії

¹ Peter Miller: Our Electric Future-A Comeback for Nuclear Power, “National Geographic” 1991

² Tschernobyl in Deutschland?, „Spiegel“ 20/1986

³ слова президента EDF Франсуа Русселі перед Комісією з питань економіки та екології 23.11.2003р.

стверджують, що порівняно високим рівнем надійності німецькі реактори минулого завдячували впливовості анти-атомного руху в колишній ФРН - постійного скептичного спостерігача за реакторами з боку уважної громадськості. Виникнення так званої „критичної експертної громадськості” призвело до того, що величезні кошти були вкладені в модернізацію атомних станцій, зробивши їх промисловими установками, найбільш захищеними від аварій серед всіх інших за всю історію промисловості.

Але тут має місце і зворотна реакція: як тільки зникає суспільна увага, зменшується надійність.

Як виглядає реальний баланс безпеки через 20 років після Чорнобиля? Чи існує в Україні після років запеклих дискусій щодо ризиків атомної енергії взагалі реальний прогрес в сфері безпеки реакторів? Чи навпаки, наступна велика катастрофа вже запрограмована?

Ніхто не може спростувати той факт, що і атомна техніка виграє від прогресу в сфері загального розвитку технологій. Революція, яка сталась в інформаційних та комунікаційних технологіях з моменту зведення великої кількості комерційних реакторів у світі, робить управління та нагляд за атомною станцією більш легким, та більш надійним в умовах нормальної експлуатації. На багатьох старих реакторах заднім числом встановлювались і досі встановлюються сучасні системи управління. На користь більш високого ступеня безпеки говорить досягнуте завдяки комп'ютерним симуляціям та експериментам краще розуміння процесів фізики реактору та інших складних процесів при експлуатації і в позаштатних випадках. Сьогодні спеціалісти програмують аварійні процеси, яких не можна було змодельовати 20 або 30 років тому, і які частково взагалі не були відомі. Спеціалісти з техніки безпеки також вииграють від розвинутого аналізу вірогідності та вдосконалених систем контролю та нагляду, якими все більше оснащуються старі реактори.

Енергетичні компанії до того ж стверджують, що вони багато чому навчилися з помилок минулого. Вони вказують на заснування Міжнародної асоціації організацій, що експлуатують АЕС (WANO), яка влаштовує обмін досвідом та займається передачею актуальних даних про позаштатні випадки своїм членам. По всьому світу енергетичні підприємства можуть скористатись досвідом більш ніж 11 000 компаній. Щоправда, все одно це не є доказом „нової ступені надійності” атомних станцій. Той факт, що з часів Чорнобиля та Гаррісбурга не сталось ніяких аварій з оплавленням активної зони, зовсім не означає, що вони виключені у майбутньому. Пакш був найсуворішим попередженням останніх часів. Майже дві третини всіх функціонуючих реакторів у світі - такого ж типу, що і чорнобильські. Це – вихідна точка для всіх розмірковувань відносно ймовірності нових подібних аварій: серйозна катастрофа може статись сьогодні або ж тільки через 100 років. І тут 11 000 компаній, які експлуатують реактори, не можуть бути контр-аргументом. Коли у 1978р. у Гаррісбургу трапилась аварія з оплавлення активної зони в комерційному реакторі, противники атомної енергії поширили в північній Німеччині листівки, на яких зі злою іронією по відношенню до таких запевнень було написано : ”Катастрофа раз на 100 000 років - як же швидко плине час!”

Активно пропаговане зараз продовження терміну експлуатації називається менеджерами, такими як голова правління німецького енергетичного концерну RWE, Гаррі Роелз ” рішенням, яке є повністю доцільним з точки зору техніки безпеки⁴”. А Вальтер Гоефельдер, голова правління компанії E.on Ruhrgas та президент Німецького атомного

⁴ Frankfurter Rundschau: 12.08.2005

форуму, заявляє з усією серйозністю, що „таке продовження робить енергозабезпечення ще більш надійним”⁵. В цих висловлюваннях більш за все дивує те, що переважна частина суспільства не вимагає їх чіткої аргументації. І тому, коли енергетичні компанії намагаються переконати в тому, що нібито атомні станції, на відміну від автомобілів або літаків, стають з роками більш надійними, це звучить як занадто сміливе ствердження. Проти цього висловлювання говорить, нажаль, не тільки людська логіка, але і сама фізика.

Світовий арсенал реакторів „старіє”. За цим поняттям в науці про техніку матеріалів та металознавстві стоїть широкий об’єм знань. Воно означає не лише елементарні „явища амортизації”, але і складні зміни на поверхні та в середині металевих матеріалів. Такі процеси та їх можливі наслідки в атомній сфері особливо складно розрахувати, не кажучи вже про своєчасне виявлення за допомогою систем нагляду. Тут на вирішальні з точки зору техніки безпеки елементи конструкції постійно одночасно діють високі температури, велике механічне навантаження, хімічно агресивне середовище та здійснюється бомбардування нейтронами. Протягом останніх десятиліть постійно спостерігаються такі процеси як корозія, радіаційні ураження, утворення тріщин на поверхні, на зварювальних швах і всередині центральних компонентів. Часто вдається уникнути великих аварій, оскільки проблема своєчасно виявляється системою нагляду або при планових дослідженнях, під час відключення та огляду установки. Інколи це відбувається просто випадково.

Не слід лишати поза увагою і зворотний ефект лібералізації енергоринків у багатьох країнах, в яких експлуатуються атомні станції. Лібералізація означає „підвищення незалежності в економічних питаннях” на кожній атомній станції, а це пов’язано з дуже відчутними наслідками, як наприклад: скорочення персоналу, зменшення частоти та тривалості перевірочних робіт, дефіцит часу при їх проведенні, як і під час заміни тепловиділяючих елементів. Все це аж ніяк не сприяє підвищенню надійності.

Висновок: якщо компанії-експлуататори досягнуть успіху у продовженні терміну експлуатації до 40 або навіть 60 років, то середній вік функціонуючих на сьогоднішній день атомних станцій у світі збільшиться з 22 років вдвічі, або майже втричі. Таким чином, в значній мірі зростає загальний ризик серйозної катастрофи. Тут мало що може змінити зведення нових атомних станцій так званого „третього покоління”. Адже вони ще багато десятиліть будуть складати невеликий процент від існуючого арсеналу „старих” реакторів у світі. Окрім того з фізичної точки зору, в них також не виключена ймовірність великої аварії. Наприклад, спроектований наприкінці 80-х років Європейський легководний реактор, прототип якого будується у Фінляндії, є, як стверджують критики, скромним удосконаленням функціонуючих сьогодні у Франції та Німеччині легководних реакторів 80-х років. У ньому наслідки оплавлення активної зони мають бути локалізовані за допомогою уловлювача активної зони. Окрім того, що таке обладнання робить всю установку значно дорожчою, існує ще одна проблема. Справа в тому, що на стадії розробки реактор проектувався більш габаритним, зокрема для того, щоб принаймні бути конкурентноспроможним з точки зору економіки по відношенню до попередніх моделей. Питання про те, чи зможе теперішня захисна оболонка цього реактора, підігнана під сучасні стандарти, витримати цілеспрямоване падіння пасажирського літака з повним баком, є принаймні спірним.

⁵ Berliner Zeitung: 9.08.2005

В те, що вірогідність серйозних аварій зменшилась, враховуючи термін експлуатації окремих установок, не вірять навіть самі атомні компанії. З нагоди зустрічі організації WANO у Берліні в 2003р. учасники склали список з восьми „серйозних аварій”, які декілька років тому привернули до себе увагу в першу чергу самих експертів. Перша з них - вже згадана на початку аварія з тепловиділяючими елементами на угорській станції Пакш. Список випадків з потенціалом катастрофи включає:

- порушення системи управління захистом (стрижені СУЗ) на останньому британському реакторі Сайзвелл (введений в експлуатацію 1995р.);
- занадто низька концентрація бору в аварійній системі охолодження реактора Філіпсбург-2 у Баден, Вюртемберг (Німеччина)
- дефект тепловиділяючих елементів на 3-му блоці французької атомної станції Катеном, який спостерігався вперше;
- великий вибух водню в трубі реактора з киплячою водою у Брунсбюттель у безпосередній близькості до корпусу реактора з водою під тиском (PWR - Pressurized Water Reactor);
- масивна корозія, яка довгий час залишалась непомітною на корпусі реактора з водою під тиском американського Девіс Бесс, де лише тонка обшивка з благородного металу відвернула велике витікання;
- маніпуляції з даними, важливими для техніки безпеки, на британській установці Селлафілд;
- подібні маніпуляції в японській компанії Тепко.

Недбалість та інциденти такого роду, а особливо - зростання їх кількості в недавньому минулому, викликають у енергетичних компаній помітну стурбованість та усвідомлення проблем в більшій мірі, ніж у політиків-захисників ренесансу атомної енергії. Компетентні особи побоюються наслідків глибоко укоріненого в людській природі феномену, - схильності до м'якої отрути повсякденності, яка унеможливує підтримання високого рівня концентрації уваги при одноманітній діяльності протягом багатьох років. Під час берлінської зустрічі референти скаржились не тільки на значні фінансові наслідки інцидентів (тільки в зв'язку з позаштатними ситуаціями у Філіпсбурзі, Пакші та Дейвіс-Бессі до жовтня 2003р. виникло майже 298 мільйонів доларів витрат, 12 з 17 реакторів з киплячою водою японської компанії Тепко було зупинено через маніпуляції з даними), але ще більше на недбалість та самовдоволеність серед компаній. „Ці два фактори представляють небезпеку для подальшого існування нашої галузі”⁶, - попередив шведський учасник зустрічі експертів. Тодішній голова WANO японець Хайяму Магда діагностував навіть „жахливу хворобу”, яка загрожує галузі зсередини. Вона починається з втрати мотивації, самовдоволення та „недбалості при підтримці культури безпеки і призводить до дерегуляції енергоринків”. Цю хворобу треба виявляти та боротися з нею. „В іншому випадку одна серйозна аварія може коли-небудь знищити всю галузь”⁷.

3. Терористи-смертники: новий масштаб загрози

Загроза, пов'язана з терактами 11-го вересня 2001р. в Нью-Йорку та Вашингтоні та висловами пізніше затриманих ісламістів, набуває нового масштабу в розмірковуваннях щодо безпеки. Саме вони примушують по-новому підійти до проблем використання атомної енергії.

⁶ Nucleonics Week:6.08.2003

⁷ Ebd

В тому, що атомні станції відіграють важливу роль у виборі цілей терористами, можна бути певним, враховуючи свідчення двох заарештованих ватажків Аль-Каїди. Стало відомо, що Мохамед Атта, який пізніше направив літак Боїнг 767 на північну вежу Світового торговельного центру, вже вибрав обидва реакторних блоки атомної станції Індіан Пойнт на Гудзон Рівер в якості можливих цілей нападу. Вже навіть існувала кодова назва для атаки на атомну станцію, яка знаходиться на відстані 40 км від Манхеттена, - „electrical engineering”. Але тільки через те, що пілоти-терористи побоялись, що їх атака на атомну станцію може бути передчасно зупинена ракетами ППО, вони відмовились від цього плану. В початковому, ще більш жахливому плані ватажка Аль-Каїди Шейха Мохамеда, для якого мало бути викрадено одночасно 10 пасажирських літаків, у списку можливих цілей теракту стояли, за його словами, декілька атомних станцій. Саме тому абсолютно необхідно серйозно враховувати загрозу терактів в майбутніх оцінках ризиків атомних станцій. З 11-го вересня 2001р. їх вірогідність зросла в декілька разів.

Можна точно сказати, що жоден з 443 реакторів, які функціонують у світі на кінець 2005р., не змогли б протистояти цілеспрямованій атаці великого літака з повним баком пального. Це одноставно підтверджують і самі енергетичні компанії під враженням терактів в Нью-Йорку та Вашингтоні. Таке швидке визнання мало свого часу і тактичні компоненти. Воно мало не допустити дебатів відносно старих, особливо вразливих атомних станцій, які потім могли бути передчасно призупинені під тиском стурбованої громадськості. Тим часом існують результати наукових досліджень, які підтверджують висловлювання менеджерів. При будівництві багатьох реакторів в західних розвинутих країнах в оцінках ризиків враховувалось випадкове падіння невеликих та військових літаків і навіть теракти з застосуванням фаустпатронів, гаубиць та іншої зброї. Незаплановане зіткнення з пасажирським літаком з повним баком вважалось, навпаки, настільки маловірогідним, що в жодній країні світу не було вжито ефективних застережних заходів. Сама можливість цілеспрямованої атаки за допомогою пасажирського літака в якості керованої зброї виходила за межі фантазії конструкторів реакторів.

В Німеччині компанія з питань безпеки установок та реакторів зі штаб-квартирою у Кельні, одразу після терактів в США почала масштабні дослідження відносно вразливості німецьких атомних станцій до атак з повітря. При цьому за дорученням Федерального уряду досліджувалась не лише стійкість типових атомних станцій. На макеті літака в Технічному університеті у Берліні десяток пілотів здійснювали умовні атаки на різноманітній швидкості, обирали різні місця зіткнення та направляли атаки на німецькі атомні станції, які в образі відео-анімації відображались в віртуальній кабіні пілота. Ці пілоти, як і терористи в Нью-Йорку та Вашингтоні, до того часу не мали досвіду керування пропелерними літаками. Незважаючи на це, кожна друга атака „камікадзе” вражала у ціль.

Результати дослідження виявились настільки приголомшуючими, що так ніколи і не були опублікованими. Тільки один з висновків під грифом „секретно” потрапив до рук громадськості. Згідно з ним, для прикладу, старим реакторам при будь-якому влученні загрожує атомна катастрофа, незалежно від типу, розміру або швидкості зіткнення пасажирського літака. Була б або пробита захисна оболонка, або, внаслідок сильного струсу при зіткненні та спричиненого цим загоряння гасу, знищена система трубопроводу. В будь-якому випадку, при прямому влученні було б дуже вірогідним оплавлення активної зони та витікання радіації на великій території. Проміжному сховищу всередині атомної станції, де відпрацьовані тепловиділяючі елементи розміщуються в басейн-охолоджувач, також може загрозувати небезпека. Щоправда, реактори сучасного типу в

багатьох країнах оснащені більш стабільними захисними оболонками. Але за даними дослідження, при прямому влученні в такі реактори на великій швидкості не можна повністю виключати можливість позапроектної аварії з наступним ураженням великих територій.

Не слід вважати, що цілеспрямована атака з повітря робить менш актуальними інші побоювання, які розглядались у світі ще до 11 вересня 2001р. Вони лише отримали конкретну та реалістичну основу. Сценарії терактів, в яких атомні станції атакуються зовні з застосуванням зброї або вибухівки, або в яких нападники силою чи таємно потрапляють до суворежимної зони, вже і раніше інтенсивно досліджувались в деяких промислових країнах. Але ніколи не розглядався варіант з терористами-самогубцями. Вражаючи можливість того, що люди, які атакують атомну станцію, при цьому самі планують стати жертвою цього теракту, робить можливими десятки варіантів атаки, котрі до цього часу не брались до уваги.

З точки зору екстремістських терористів-самогубців атака на атомну станцію не є чимось ірраціональним. Навпаки, екстремісти знають, що вдала атака спричинила б не тільки безпосередньо катастрофу та багатомільйонні страждання, а і ймовірно передбачливе закриття багатьох інших атомних станцій, і тим самим спричинила би в промислових країнах економічну катастрофу, яка б затьмарила економічні потрясіння після 11-го вересня 2001р. Якими би жахливими та безпрецедентними не були теракти на Всесвітній Торгівельний Центр та Пентагон, вони все ж таки переслідували демонстраційно-символічну мету - влучити в економічне та політично-військове серце світової імперії США та принизити її таким чином. Атака на атомну станцію була б позбавлена такого символізму. Ураженою тут буде система енергозабезпечення, тобто нервовий центр та вся інфраструктура індустриальної країни. Радіоактивне ураження всього регіону, та, можливо, довготривала евакуація сотень тисяч, якщо не мільйонів, постраждалих остаточно знищила б розподільчу лінію між війною та терором. Жоден з інших нападів, навіть на нафтовий порт в Роттердамі, не справив би такого психологічного ефекту на західні індустриальні країни. Навіть в тому випадку, коли не буде досягнуто кінцевої мети - спричинення позапроектної аварії, результат був би руйнівним. Це в свою чергу розпалило б дискусії щодо суттєвого підвищення рівня ризику катастроф атомної енергії і призвело б в ряді індустриальних країн до закриття багатьох, якщо не всіх, атомних станцій.

4. Атомні станції: ядерні цілі в звичайній війні

На тлі нового виміру тероризму все більшої важливості набуває дискусія про „мирне використання ядерної енергії” та питання війни. Воно знаходилось та знаходиться до цього часу під табу, тому що розташування атомних станцій в міжнародних конфліктних регіонах, таких , як наприклад Корейський півострів, Тайвань, Іран, Індія чи Пакистан, мають небажані і навіть фатальні наслідки - потенційному противнику у війні більше не потрібна атомна бомба для того щоб спустошити радіацією ту чи іншу країну. Достатньо військової авіації або артилерії. Не існує іншої технології, при якій одна подія може спричинити крах всього енергетичного комплексу країни. Народне господарство, що покладається на таку техніку, не може розраховувати на надійне і безпечне постачання. У разі війни воно є більш вразливим для звичайних атак, ніж народне господарство без подібної техніки.

„Розвиток атомної енергії у всьому світі потребує радикальних змін політичної структури всіх світових культур”, - так фізик та філософ Карл Фрідріх фон Вайцекер обґрунтував

свій перехід у табір противників атомної енергії. „Він (розвиток) вимагає подолання політичного інституту війни, що існує якнайменше з початку існування розвинутих культур⁸”. „Мир у світі, гарантований політично та культурно, не існує навіть в перспективі”, - зробив висновок Вайцзекер. В часи „асиметричної сили”, коли екстремісти, які спираються на чітку ідеологію, готуються до війни проти сильних індустріальних країн або навіть до глобальної „війни цивілізацій”, всесвітній мир став ще більш далекою перспективою, ніж це було у 1985р., коли Вайцзекер викладав свої погляди.

Загроза для атомних станцій внаслідок воєнних конфліктів не є суто теоретичними міркуваннями. В балканському конфлікті на початку 90-х років існувала небезпека, що атомний реактор в словенському місті Каско може стати об'єктом озброєного нападу. Для того, щоб продемонструвати можливу ескалацію конфлікту, югославські бомбардувальники періодично пролітали над реактором. Чи відмовився б Ізраїль у 1981р. від авіаатаки на будівельний майданчик іракського дослідного реактору Осірак, якби реактор на 40 МВт був введений в експлуатацію, невідомо. Напад вважався превентивним ударом проти спроби Саддама Хусейна першим побудувати „ісламську бомбу”. Американські бомбардувальники атакували будівельний майданчик під час війни у Перській затоці. У відповідь Саддам Хусейн направив свої ракети на ізраїльську атомну станцію Дімона. Наприкінці 2005р. в пресі були поширені повідомлення про запланований ізраїльський авіаудар проти нібито існуючих таємних ядерних установок в Ірані.

Як Ви бачите, мова йде про ряд правдоподібних сценаріїв, в яких сторонам конфлікту спадає на думку здійснити напад на атомні установки у ворожій країні. Він може бути використаний, по-перше, в якості превентивного удару проти можливих амбіцій противника щодо створення атомної зброї, які часто пов'язані з атомними установками у країнах, що розвиваються, і по-друге, для того, щоб посяяти жах. Звідси випливає жорстокий висновок: країна, потенційний або фактичний противник якої має атомні станції, може не витратити сили на створення власної атомної бомби - її може замінити напад на цивільні ядерні установки противника. Оскільки комерційна атомна станція має арсенал радіоактивності на порядок вище, ніж вибух атомної бомби, то довгострокове радіоактивне ураження після „вдалого” нападу на атомну станцію має незрівнянно більш драматичні наслідки, ніж скидання бомби.

5. Сіамські близнюки: цивільне та військове використання атомної енергії

З того часу, коли атомну енергію почали використовувати для контрольованого виробництва енергії, на порядку денному постало питання щодо зловживання нею у військових цілях. Це нікого не могло здивувати. Скинуті у 1945р. на Хіросіму та Нагасакі атомні бомби надовго залишили слід в людській пам'яті. Коли американський президент Дуайт Ейзенхауер у 1953р. проголосив свою програму „Атоми для миру”, вона стала стартовим пострілом для „мирного використання ядерної енергії”. Це було результатом нагальної необхідності та великої стурбованості. За допомогою широкого розголошення своїх тоді ще ексклюзивних та таємних ноу-хау про розщеплення ядра США намагались перешкодити розвитку в інших країнах власних атомних програм, число яких почало збільшуватись.

Угода, яку запропонував президент США - країни, яка зі створенням бомби остаточно набула статусу наддержави, була дуже простою: всі зацікавлені країни повинні мати

⁸ Klaus Michael Meyer-Abrich/Bertram Schefold: „Die Grenzen der Atomwirtschaft“, München 1986.

можливість отримувати прибутки від мирного використання атомної енергії за умови, що вони відмовляться від власних амбіцій щодо створення ядерної зброї. Таким чином мав бути призупинений розвиток, якого після Другої світової війни досягли за недовгий час поруч з США Радянський Союз, Велика Британія, Франція та Китай, зробивши їх атомними державами. Інші країни, серед яких були ті, які завжди вважались абсолютно мирними, як наприклад, Швеція або Швейцарія, працювали в більшій або меншій мірі інтенсивно та таємно над розробкою ультимативної зброї. Також і Федеративна Республіка Німеччина (після другої світової війни до 1955р. по суті несuverенна держава), плекала за часів міністра атомної енергетики Франца-Йозефа Штрауса відповідні амбіції.

Договір про заборону ядерної зброї, який вступив в силу у 1970р., був, як і Міжнародне агентство з атомної енергетики МАГАТЕ зі штаб-квартирою у Відні, результатом ініціативи Ейзенхауера. Завданням Віденського відомства, заснованого у 1957р., було з одного боку сприяти розвитку ядерної техніки для виробництва енергії та розповсюдження її по всьому світі, а з іншого боку - перешкоджати розробці ядерної бомби у країнах з відповідними амбіціями, число яких зростало. Через майже півстоліття після її заснування підсумок роботи МАГАТЕ був настільки ж суперечливим, як і її первісне завдання. Їй вдалось в значній мірі затримати поширення робіт над атомною бомбою завдяки нагляду над цивільними ядерними установками та ядерним паливом, яке там використовується. За це Віденське агентство разом з її головою Мохамедом Ельбаррадейем отримали у 2005р. Нобелівську премію миру. Щоправда МАГАТЕ не вдалось зупинити розробку бомби. Вже до кінця холодної війни до п'яти „офіційних” атомних держав додалися Ізраїль, Індія та Південна Африка. Південна Африка знищила свої ядерні підривні заряди після відходу від системи Апартеїду на початку 90-х років. Після війни у Перській затоці у 1991р. інспектори виявили в Іраку, лідер якого Саддам Хусейна сам був членом Договору про заборону ядерної зброї, таємну програму з розробки ядерної зброї, яка, незважаючи на пильний контроль з боку МАГАТЕ, вже дуже далеко просунулась. У 1998р. Індія та Пакистан, які, як і Ізраїль, відмовлялись від приєднання до Договору про заборону ядерної зброї, шокували весь світ новиною про випробування ядерної зброї. У 2003р. комуністична Північна Корея вийшла з договору та оголосила себе ядерною державою.

Саме цей останній досвід може, на думку багатьох експертів, у майбутньому надихнути інші авторитарні режими на виявлення намірів щодо створення ядерної бомби. Оскільки в той час, як Ірак напередодні американського втручання у 2003р. заявляв про те, що хоч і прагне мати ядерну зброю, але досі її не має, то північно-корейські комуністи зізнались, що вони майже близькі до мети. І в той час, коли влада Саддама Хусейна була повалена за допомогою звичайних американських бомб, ця доля обминула не менш авторитарного диктатора Кім Чонг-Іла. Досить вірогідним є те, що не останню роль тоді відіграли побоювання, що після удару звичайною зброєю на Північну Корею ця країна буде в змозі відповісти атомним ударом. Припущення щодо можливості такого варіанту, навіть зроблене заднім числом, може стати стимулом для інших, ворожих до США, країн також піти шляхом Північної Кореї. Недавнім прикладом існування таких амбіцій є Іран, хоча його влада постійно присягається, що всі атомні установки в країні служать виключно для цивільного використання атомної енергії.

В основі всіх цих процесів лежить фундаментальна проблема атомних технологій. Навіть при всьому бажанні та при застосуванні найсучаснішої техніки контролю неможливо чітко визначити, для яких цілей вони використовуються: цивільних чи військових. Зокрема паливний цикл відбувається у мирному та немирному варіанті паралельно.

Технології та ноу-хау можуть легко використовуватись в цивільних та військових цілях⁹, щоправда з фатальними наслідками в останньому випадку. Кожна країна, яка опановує цивільну ядерну техніку, розробці якої сприяє МАГАТЕ або Європейська спільнота з атомної енергії ЄВРАТОМ, може рано чи пізно прийти до розробки ядерної бомби. Все частіше протягом останніх 50 років фіксуються випадки, коли безпринципні правителі поруч з цивільними атомними програмами потай розробляють і військові. Але навіть без таємних спеціальних програм важливі атомні установки можуть стати об'єктом для зловживання у військових цілях:

- установки для збагачення ізоотопу урану, що розщеплюється, U-235, використовуються для виробництва ядерного палива для домінуючих по всьому світі легководних реакторів. Продовження процесу в напрямку більш високої концентрації подільного елемента уран-235 (Highly Enriched Uranium HEU) дає в результаті ядерне паливо для дослідницьких реакторів або для ядерних бомб по типу застосованої в Хіросімі;
- дослідницькі та комерційні реактори для виробництва енергії можуть служити для офіційно задекларованих цілей або для цілеспрямованого виробництва придатного для створення зброї плутонію (Pu-239) для ядерних бомб по типу Нагасакі. В більшій мірі це стосується реакторів на швидких нейтронах;
- на установках для переробки відпрацьованого ядерного палива в першу чергу виділяється реакторне ядерне паливо - плутоній від інших радіоізоотопів, які виникли до того при розщепленні ядра в реакторах, або цілеспрямовано виділяється ізоотоп плутонію Pu-239 в якості вибухової речовини для ядерних бомб;
- технології установок для переробки відпрацьованого ядерного палива роблять можливим в закритих „гарячих камерах” переробку та обробку радіоактивного ядерного палива в рамках цивільного паливного циклу або переробку та обробку компонентів для ядерної бомби;
- проміжне сховище для плутонію, урану або іншого ядерного палива служить або як сховище ядерного палива для атомних станцій, або як склад вибухівки для виробництва ядерної бомби.

Перетворення цивільних компонентів паливного циклу у військові може відбуватись санкціоновано тією чи іншою країною через таємні військові програми. Також воно може відбуватись через несанкціонований відбір цивільного ядерного палива в обхід національного та міжнародного контролю. В першу чергу треба побоюватись крадіжки такого палива, технологій, які можуть використовуватись у військових цілях, або відповідних ноу-хау.

Після закінчення холодної війни спочатку з'явилась надія, що спільні інтереси ядерних держав перешкодити подальшому поширенню сенсорних елементів та ядерних технологій кардинально зменшать ризики неконтрольованого поширення військових атомних технологій. Але водночас загрозу представляли „витікання” з до того часу суворо засекречених цивільних та військових атомних арсеналів, в першу чергу в Радянському Союзі, що розпався. Виник справжній чорний ринок „ядерних речовин” різного роду, організований сумнівними бізнесменами та кримінальними бандами. В основному це були радіоактивні випромінюючі елементи, які на початку 90-х років продавались за неймовірними цінами в кримінальних колах, і були абсолютно непридатними для створення ядерної бомби. Але це не дуже заспокоювало, враховуючи сам факт зникнення радіоактивних речовин з до цього часу герметично закритих сховищ.

⁹ „dual use”

Незаперечним є те, що з розвитком і поширенням цивільної ядерної техніки у 31 країні, які на сьогодні застосовують її у комерційних цілях, зростають витрати на перешкодження їх військовому зловживанню. Нова кон'юнктура ядерної енергії, яку можна порівняти з бумом 70-х років, наприкінці якої 50, 60 або більше країн мали б доступ до технологій розщеплення, поставило б і без того перевантаженою та недостатньо фінансованою МАГАТЕ нерозв'язні проблеми щодо нагляду і контролю. До цього треба додати нову небезпеку тероризму, який у випадку війни не побоявся б використати „брудну бомбу”. Застосування звичайної вибухівки, оснащеної радіоактивним матеріалом цивільного походження, викликав би не тільки багаточисленні жертви та зростаючий страх і невпевненість серед потенційних країн-мішеней, але і зробив би місце вибуху взагалі непридатним для життя.

6. Відкритий цикл

Саме поняття атомного „паливного циклу” належить до дивовижних прикладів словотворчості, які поширюються декілька десятиріч, хоча при цьому постійно спростовуються реальністю. Міф про ядерний цикл бере початок від давньої мрії ядерних техніків про те, що після запуску комерційних уранових реакторів можна буде виділяти плутоній, який виробляється там в установках для переробки відпрацьованого ядерного палива, а потім в реакторах-розмножувачах на швидких нейтронах - своєрідному вічному двигуні, з урану, що не розщеплюється (U- 238) знову виробляти плутоній (Pu-239) для інших реакторів-розмножувачів. Гігантський промисловий цикл повинен виникнути у всьому світі з тисячами реакторів-розмножувачів на швидких нейтронах та десятками установок для переробки відпрацьованого ядерного палива, які сьогодні існують у великому промисловому масштабі тільки у французькій Гаазі та британському Селлафілді. Тільки в Німеччині в середині 60-х років атомні стратеги очікували до початку нового тисячоліття появи арсеналу з реакторів-розмножувачів з загальною потужністю у 80 000 МВт. Але плутонієвий шлях ядерної техніки став, мабуть, найбільшим фіаско в історії цієї галузі. Спеціаліст з енергетики Клаус Траубе, спочатку сам керівник німецького проекту зі створення реакторів в нижньорейнському Калькарі, назвав його „утопією визволення 50-х років”¹⁰. Занадто дорога, технологічно незріла, ще більш сумнівна, ніж звичайні атомні станції, з точки зору техніки безпеки, особливо вразлива до військового зловживання, ця технологія ніде у світі не знайшла застосування. Тільки Росія та Франція експлуатують по одному з таких реакторів ще з початку розвитку галузі. Японія (її демонстраційний реактор в Мондзю закритий після сильного загорання натрію у 1995р.) та Індія продовжують офіційно йти по цьому шляху.

Без перспективи існування реакторів-розмножувачів історичний лейтмотив виділення плутонію в установках для переробки відпрацьованого ядерного палива втратив свою актуальність. Проте, окрім великої Британії та Франції, у Японії, Росії та Індії продовжують функціонувати невеликі установки для переробки відпрацьованого ядерного палива для використання плутонію, що там виробляється, у вигляді так званого змішаного оксидного палива знову на звичайних легководних реакторах. Установки для переробки відпрацьованого ядерного палива виробляють, якщо не відключені через технічні проблеми, плутоній та уран, але в першу чергу, вони породжують неймовірні витрати плюс високорадіоактивні відходи, які мають бути десь поховані, а доквілля отримує при цьому таку дозу опромінення, яка в декілька тисяч разів перевищує опромінення від легководного реактора. Окрім того, переробка пов'язана зі складним процесом

¹⁰ Klaus traube:Plutonium-wirtschaft? Hamburg 1984.

транспортування високорадіоактивних матеріалів, які також можуть бути використані у військових цілях. Вона також в значній мірі підвищує кількість можливих цілей для терористичної атаки. Оскільки тільки порівняно невелика частина всіх радіоактивних відходів, що виробляються у світі на комерційних атомних станціях, переробляється, а відпрацьоване змішане оксидне паливо, як правило, навіть не проходить замкненого циклу, то від паливного циклу залишилась лише назва. В реальному світі цей цикл незамкнений.

Атомні станції виробляють поряд з енергією в першу чергу високо-, середньо- та низькорадіоактивні відходи, які часто є ще й високо отруйними. Вони повинні надійно зберігатись протягом величезного проміжку часу. Наскільки довго, залежить від так званого природного періоду напіврозпаду радіонуклідів, і цей період для кожного з них є дуже різним. Наприклад, ізотоп плутонію Pu втрачає половину своєї радіоактивності через 24 110 років, ізотоп кобальту Co-60.0 - через 5,3 дні.

Через півстоліття після початку ядерного виробництва енергії у світі досі не існує жодного санкціонованого та готового до експлуатації могильника для зберігання ядерних відходів. Це можна порівняти з атомним літаком, який вже злетів, а при цьому ніхто не подумав, як і куди від буде приземлятись. Порівняно короткоживучі та середньо- і низькорадіоактивні відходи в ряді країн, як наприклад, у Франції, США, Японії або Південній Африці, зберігаються в спеціальних сховищах, розташованих близько до поверхні землі. Німеччина приготувала колишню шахту залізної руди Конрад в нижньосаксонському місті Зальцгіттер для глибинного зберігання відходів, що не випромінюють тепло, з атомних станцій, але також для відходів з дослідних реакторів та медичного застосування ядерної техніки. Законність зберігання атомних відходів у колишньому руднику і досі є предметом суперечок у суді.

Наскільки несерйозним було ставлення до проблеми ядерних відходів, засвідчує висловлювання вже згаданого Карла Фрідріха фон Вайцзекера у 1969р. Тоді фізик і філософ заявив відносно ядерних відходів: „Це взагалі не є проблемою. Я можу сказати, що всі ядерні відходи, які накопичаться у ФРН у 2000р., умістяться в ящик кубічної форми з ребром в 20 м. Якщо його добре запечатати, закрити та розмістити в шахті, то тоді можна сподіватись на те, що проблема таким чином буде вирішена¹¹”. На той момент вже не розглядалися такі екзотичні ідеї як зберігання відходів у космосі, на глибині моря або в льодах Антарктиди. В науковій дискусії панує одностайна думка про те, що кінцеве захоронення в глибоких геологічних утвореннях та спеціально створених шахтах є найкращим вирішенням проблеми. Але поки експерти не можуть вирішити, які гірські породи, граніт, сіль, глина або інші найбільш придатні для довгострокового збереження високорадіоактивних та випромінюючих тепло відходів. Кожний з варіантів має свої переваги та недоліки.

Питання відносно того, чи можливо взагалі надійно зберігати радіоактивні відходи протягом ста тисяч або навіть мільйону років, є, в кінцевому рахунку, філософським. Воно виходить за рамки людської уяви. Але зрозуміло те, що оскільки ядерні відходи існують, а абсолютної впевненості щодо їх подальшої долі досі немає, треба шукати та знаходити нові технічні рішення, спираючись на сучасний рівень знань. Останні декілька десятиліть обговорюється ідея так званої трансмутації. Її прихильники пропонують розщеплювати найнебезпечніші та найбільш довгоживучі відходи ядерної техніки в спеціально створених реакторах та перетворювати їх на інші ізотопи, які будуть

¹¹ Der Atommüll-Report, Hamburg 1989.

випромінювати ще століття. Але навіть автори цієї ідеї самі напевно не вірять у принципове зменшення обсягу відходів, цієї найнебезпечнішої спадщини атомної техніки.

Спочатку для техніки трансмутації повинні бути побудовані установки для переробки відпрацьованого ядерного палива нового типу, в яких високорадіоактивний коктейль з ізотопів з атомних станцій повинен розщеплюватись в складному хімічному процесі на окремі елементи більш диференційовано, ніж це відбувається в існуючих установках. Фабрики з виробництва плутонію в Гаазі та Селлафілді в порівнянні з цим здаються схожими на прості хімічні лабораторії. Окрім того, треба створити ряд реакторів, в яких відокремлені ізотопи будуть вибірково піддаватись бомбардуванню так званими швидкими нейтронами, розщеплюватись та перетворюватись у менш небезпечні радіонукліди. І навіть якщо вдасться технічно реалізувати такі установки, то хто зможе чи схоче оплачувати таку ядерну інфраструктуру? Таким же безсумнівним є те, що наведений спосіб переробки радіоактивного палива пов'язаний з набагато більшими ризиками, ніж пряме захоронення в ретельно вибрані глибинні сховища, як це практикують сьогодні в багатьох країнах. Вірогідність того, що, незважаючи на ці недоліки, ідея трансмутації виживе в першу чергу в Франції та Японії, пов'язано в більшій мірі з тим, що частина ядерної спільноти цих країн ще не остаточно розпрощалась з мріями про реактор-розмножувач, ніж із серйозною перспективою реалізації.

Тільки поступово та повільно у великих атомних державах вкорінюється усвідомлення того, що вибір місця для могильника представляє собою не тільки технічно-наукову проблему. Жодна із національних технологій способів вибору місця розміщення, які були започатковані в основному в 70-х роках минулого століття, не призвела в результаті до створення санкціонованого могильника. Причина полягає в тому, що дуже довгий час ніхто не зважав на суспільний протест, демократичну участь та прозорість при виборі місця. Бажання зробити висновки з цих помилок призвело в Німеччині до розробки та створення багаторівневої процедури вибору з постійною участю громадськості. Але сьогодні важко сказати, чи отримає концепція, щодо якої дійшли згоди науковці з табору прихильників ядерної енергії та їх противники після багатьох років інтенсивних дебатов у 2002р., шанс на реалізацію. Федеральний уряд, обраний восени 2005р. з партій ХДС/ХСС та СДПН відклав розгляд питання про доцільність пошуку інших альтернативних місць для захоронення атомних відходів, окрім підготовленого ще у 80-х роках могильника в м. Зальцштот.

Відносно далеко розвинулись сьогодні плани відносно побудови могильника в Фінляндії та США. Щоправда, дебати навколо гігантського сховища в Юкка Маунтн у Неваді точаться вже декілька десятиліть. Побудований же у фінському Олкілуото могильник, навпаки, не викликав майже ніякого спротиву з боку місцевих жителів. Той факт, що в тому ж місці вже багато років функціонує атомна станція без будь-яких інцидентів, та вже існує сховище для слабо- та середньорадіоактивних відходів, заспокоїв більшість населення.

Неіснуючий паливний цикл виявився дуже проблематичним з самого початку, а його пізніше цивільне використання в атомних станціях призвело до багаточисельних жертв. Велика кількість радіоактивних нуклідів, які до того знаходились під поверхнею, потрапили у біосферу. При подальшому значному розширенні сфери застосування ядерної енергії наслідки видобування урану для здоров'я та екології стануть, безсумнівно, ще більш відчутними.

Полювання на в цілому не дуже рідкісний, але доступний лише в небагатьох родовищах в достатній концентрації важкий метал почалось невдовзі після Другої світової війни.

Руйнівні наслідки американських бомбардувань Японії не тільки не зменшили амбіцій держав-переможниць забезпечити для себе доступ до стратегічних ресурсів, але, навпаки, тільки підіграли їх. Було вжито величезних зусиль для того, щоб гарантувати та розширити собі доступ до уранових ресурсів. Наслідки для здоров'я працівників і для довкілля взагалі в тих умовах відігравали другорядну роль. США розробляли родовища в своїй країні та у сусідній Канаді, Радянський Союз розвивав видобування урану в НДР, Чехословаччині, Угорщині та Болгарії. Тисячі гірників в нестерпних муках помирали від раку легенів після багаторічної важкої праці в пильних штольнях з високою концентрацією радіоактивного газу радону. Зокрема постраждали гірники східнонімецького підприємства „Вісмут”, де час від часу були зайняті більше 100 000 людей. Розкриті уранові руди містили порівняно високі концентрації радіоактивного газу радону та інших випромінюючих нуклідів, які виділялись при видобутку. Як наслідок, високі дози радіологічного випромінювання отримували не лише самі гірняки, але і навколишнє середовище та люди, що жили поблизу. Хімічні способи видобутку урану за допомогою рідких реагентів, які отруювали довкілля, поверхневі та ґрунтові води, тільки загострили проблему.

Ситуація трохи покращилась після того, як у 70-х роках почався бум виробництва енергії на АЕС. Уряди вже були не єдиними покупцями ядерного палива. Став розвиватись приватний ринок урану, і таким чином, особливе військово-стратегічне значення видобутку урану не могло більше висуватись в якості причини для надмірно важких умов праці. Після закінчення холодної війни ситуація ще раз кардинально змінилась. Військовий попит на уран різко впав. Наявні в США та колишньому Радянському Союзі запаси, на які вже не було такого попиту, стали частиною цивільного ринку ядерного палива. Окрім того, як результат успіхів в сфері ядерного роззброєння, у розпорядженні опинилась велика кількість бомбового урану з великою часткою ядерного палива з радянської та американської зброї. Наслідком стала, мабуть, наймасштабніша з колись реалізованих програм конверсії бойової зброї у цивільний економічний цикл. Вибухонебезпечна бомбова речовина „розбавляється” природнім або так званим збідненим ураном (Uran -238), з якого до цього видобувався розщеплюваний ізотоп (Uran-235), і потім використовується як паливо в звичайних атомних станціях. Внаслідок цієї абсолютно нової ситуації на урановому ринку світова ціна на реакторний уран різко знизилась. Вижили лише родовища з порівняно високими концентраціями урану. До 2005р. майже половина всього урану, що розщеплювався в атомних станціях, походив не зі збагаченої „свіжої” уранової руди, а з військової спадщини супердержав.

З іншого боку, можна передбачити, що військові запаси урану з часів холодної війни через декілька років будуть вичерпані. Вже спостерігається тенденція значного зростання цін на уран, яка буде тільки посилюватись. Поряд з реанімацією старих рудників для подальшої експлуатації атомних станцій на сьогоднішньому рівні або розвитку глобального реакторного арсеналу, будуть розроблятися нові, вже не такі багаті родовища, що даватимуть все менше урану. Водночас у довкілля буде потрапляти велика кількість радіоактивних ізотопів, що в свою чергу становитиме проблему для здоров'я людей, які живуть в тих регіонах та для екології цілому. Окрім того, промисловість потребує часу для розширення своїх потужностей для видобутку урану, а зараз, як в часи дешевої нафти, видобуток урану ведеться вже не так інтенсивно за рахунок надлишку військових запасів. Сьогодні залишилось відносно мало відомих родовищ, а між моментом відкриття родовища урану та початком видобутку проходить в середньому мінімум 10 років.

Майбутній дефіцит у забезпеченні ураном загострюється через сильну незбалансованість між країнами, що добувають, та країнами-споживачами. Канада та Південна Африка є єдиними країнами, які використовують атомну енергію для виробництва електроенергії і

не залежать при цьому від імпорту урану. Найважливіші ядерні держави або практично не ведуть власної видобутку урану (Франція, Японія, Німеччина, Південна Корея, Велика Британія, Швеція, Іспанія), або не мають достатніх потужностей для забезпечення довгострокової експлуатації своїх реакторів (США, Росія). Атомна енергія майже ніде у світі не є внутрішнім джерелом енергії з точки зору забезпечення паливом. Зокрема в Росії існує загроза серйозної кризи з постачання ураном вже через 15 років. Ця обставина не може не торкнутись енергетичних компаній в ЄС, які сьогодні отримують з Росії майже третину свого палива. Поряд з Росією, дефіцит з постачанням може виникнути у Китаї та Індії, якщо вони будуть продовжувати розвивати свій реакторний арсенал, як заявляли раніше. Стає дедалі очевиднішим, що ні постачання палива, ні ліквідація відходів з атомних станцій не можуть бути повністю забезпечені в довгостроковій перспективі. Добудова реакторів, про що зараз дискутують в деяких країнах та в чому зацікавлений ряд компаній, може тільки загострити проблему. Оскільки запаси урану невеликі, а його розробка пов'язана з непомірними витратами, за стратегією розвитку дуже скоро має настати остаточний перехід до плутонієвого шляху - з великомасштабним процесом переробки та реактором-розмножувачем на швидких нейтронах в якості стандартного реактору. Проте такий шлях розвитку тільки загострить існуючі проблеми. Це призвело б до збільшення кількості високорадіоактивних відходів у декілька разів. Відповідно постає проблема збільшення числа могильників, розрахованих на більший обсяг відходів.

7. Захист клімату за допомогою ядерної енергії: наївні поради

Вирішальним для дискусії, що знову спалахнула у деяких промислових країнах щодо майбутньої ролі атомної енергії, став її потенціал відносно зменшення глобального парникового ефекту. Цей потенціал дає захисникам ядерної техніки привід після років стагнації сподіватись на „ренесанс атомної енергії”. Атомні станції при роботі утворюють лише невелику кількість діоксиду вуглецю (CO_2). Тому прихильники атомної енергії вважають цей факт невід'ємним елементом у боротьбі з глобальним потеплінням клімату. Або, інакше кажучи, парниковий ефект підкріплює надії на кінець застою, що триває вже декілька десятиліть, та кардинальну зміну ситуації. За словами Вульфа Бернотата, голови правління дюссельдорфського концерну E.on Ruhrgas, „прийшов час визначити ціль: або розвиток атомної енергетики, або значне збільшення викидів CO_2 . Друге неможливо без першого. Це абсолютна ілюзія.¹²”. Як і багато інших протагоністів традиційного енергогосподарства, шеф найбільшого приватного енергетичного концерну у світі висуває головний аргумент для продовження ядерного виробництва енергії, суть якого полягає в тому, що захист клімату без застосування атомної енергії приречений на провал.

На переконання переважної більшості експертів, вже не може бути сумнівів щодо реальності кліматичного ефекту. Для його мінімізації до припустимої для людства та глобальної екосистеми міри, тобто для того, щоб не допустити глобального підвищення температури більш ніж на 2 градуси Цельсію в порівнянні з доіндустріальною епохою, у наступні десятиліття неминучим є фундаментальне обмеження викидів CO_2 . В індустріальних країнах експерти з питань клімату пропонували зменшення у розмірі 80% до середини 21-го століття. У країнах, що розвиваються, має бути принаймні обмежене зростання обсягу викидів. Південні країни, з їх великою кількістю населення, не повинні навіть при їх цілком виправданому прагненні до поліпшення добробуту просто копіювати шлях розвитку старих індустріальних країн Півночі, який потребує великих енерговитрат. І тому постає питання: чи є потенціал атомної енергії для боротьби з глобальними

¹² Berliner Zeitung, 3.12.2005.

викидами настільки великим та безальтернативним, щоб не зважати на безперечні ризики цієї техніки?

Ситуацію ускладнює той факт, що глобальний кліматичний ефект та можливість серйозних аварій на атомних станціях представляють собою великий ризики різного характеру, але їх реалізація призвела б до безпрецедентних та тривалих руйнувань. Якщо не протидіяти потеплінню клімату, у найближчі десятиліття воно лише прискориться та викличе різноманітні і драматичні зміни на гірше, а наслідки великої аварії, пов'язаної з атомною технікою, навіть важко уявити. Якщо вона станеться, то матиме руйнівні, довготривалі наслідки, з якими постраждала країна не зможе впоратись. Не слід також забувати про значний вплив на світову економіку. Це вже довела Чорнобильська катастрофа, яка сталась на периферії економічних ядерних зон.

Згідно зі статистикою МАГАТЕ, наприкінці 2005р. у всьому світі функціонували 443 атомні реактори з електричною потужністю у близько 370 000 МВт. Але галузь, в першу чергу у західних індустріальних країнах, переживає вже протягом декількох десятиліть період стагнації. Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) виходить з того, що до 2030р. ця тенденція навряд чи зміниться. Вона розраховує на середньостатистичний приріст глобальної потужності до 600 МВт у рік. Для такого розвитку потрібні додаткові 4 000-5 000 МВт щорік, тобто 3-4 великих атомних станцій, тому що старі реактори будуть в цей час закриватись. Оскільки за прогнозами Міжнародного агентства з атомної енергії (структури ОЕСР) потреба у енергії в світі буде тільки зростати, частина атомної енергії в енергопостачанні зменшиться навіть з 17% у 2002р. до 9% у 2030р. Спеціалізоване видання „Nuclear Engineering International” здійснило у червні 2005р. інші розрахунки: оскільки до цього моменту 79 реакторів функціонують вже більш ніж 30 років, буде практично неможливо утримувати кількість атомних станцій в наступні 20 років на постійному рівні¹³. Тільки для того, щоб стабілізувати Status quo після того, як будуть відключені старі реактори, у наступні 10 років заплановане зведення та введення в експлуатацію 80 нових реакторів - по одному кожні 6 тижнів. У наступні 10 років повинні бути підключені навіть 200 реакторів - по одному кожні 18 днів. Таким чином, атомна енергія як засіб проти кліматичного колапсу є абсолютною ілюзією як у короткостроковій, так і довгостроковій перспективі.

Тим не менше, в деяких дослідженнях моделювались сценарії, в яких вивчався потенціал скорочення атомної енергії за умов реалізації честолюбних глобальних цілей захисту клімату. Збільшення виробництва атомної енергії у 10 разів до 2075р. буде означати, що до середини століття кожен рік буде вводиться в експлуатацію 35 нових великих реакторів. В порівнянні з цим, стратегія розбудови до 1,06 МВт (1600 ГВт) електричної потужності до 2050р. відповідала б збільшенню потужності атомних станцій втричі в порівнянні з сьогоdnішнім станом. В порівнянні зі звичайним розвитком глобального виробництва енергії вугільними та газовими станціями, це означало б зменшення кількості викидів на 5 мільярдів тонн CO² у 2050р. Всі ці міркування об'єднує одне, - те що вони не мають абсолютно ніякого відношення до реальності та досвіду минулого.

На 25-40 мільярдів тонн CO² зменшився б обсяг викидів у 2050р., якщо виходити з прогнозів міжнародного агентства з атомної енергії та вимог експертів Міжурядової комісії з питань зміни клімату (IPCC). Якщо б зараз дійсно водночас направити всі доступні ресурси на розбудову атомної енергії, для того, щоб, наприклад, реалізувати до 2050р. згаданий раніше сценарій збільшення виробництва атомної енергії втричі, то до середини століття це б зменшило обсяг викидів парникових газів на 12,5-20%. Це був би

¹³ Nuclear Engineering International, червень 2005р.

не такий вже і незначний результат, але з іншого боку й не такий великий, щоб відмовитись від інших можливостей для боротьби з кліматичним ефектом. Такий успіх коштував би дуже багато не тільки з економічної точки зору. Він мав би окрім того наступні наслідки:

- виникнення нових вогнищ технічних катастроф у великій кількості по всьому світі
- у розвинутих країнах і країнах, що розвиваються, та кризових регіонах будуть створені нові цілі для військових та терористичних нападів;
- проблема створення нових сховищ та небезпека подальшого неконтрольованого поширення атомної зброї в усіх регіонах світу набуде нових масштабів;
- через недостатні запаси урану звичайні на сьогоднішній день легководні реактори вже скоро будуть вимушені поступитись місцем „плутонієвому шляху” та реакторам на швидких нейтронах, які є ще більш вразливим для терористичних та військових атак;
- замість боротьби з бідністю, величезні фінансові кошти будуть направлятись в кризові регіони світу на розбудову атомної інфраструктури.

Така стратегія могла б стати предметом розгляду лише тоді, якби не існувало інших, менш проблематичних заходів для боротьби з кліматичним ефектом. Але як відомо, це не так. За реалістичними оцінками, навіть найамбітніших цілей для боротьби з парниковими газами можливо досягнути без внеску атомної енергії. Зменшення викидів діоксиду вуглецю на 40 -50 мільярдів тонн (при потребі у зниженні у 25-40 млрд. тонн) можливо до середини 21 століття, якщо

- буде покращена ефективність використання енергії в комунальній сфері, промисловість покращить ефективність використання енергії та матеріалів на основі стандартів сучасної техніки;
- буде відповідно покращена ефективність використання енергії у транспортному секторі;
- будуть використовуватись принципи ефективності в енергетичному секторі при виробництві та застосуванні енергії;
- при виробництві енергії буде використовуватись більше природного газу замість вугілля або нафти;
- будуть систематично розвиватись природні енергії сонця, вітру, води, біомаси та геотермії у енергетичному та теплопостачальному секторі;
- та нарешті технологія чистого вугілля (за якої при спалюванні вугілля на атомних станціях діоксид вуглецю осаджується та захоронюється) розробляється до стадії застосування та впроваджується.

Масштабні дослідження Анкетної комісії Німецького Бундестагу 2002 року показали, що для промислової країни на зразок Німеччини зменшення викидів CO² на 80% до середини століття може бути реальним при застосування різних стратегій та інструментів. В будь-якому випадку, глобальне покращення ефективності використання енергії є таким же необхідним кроком, як і активний розвиток природної енергії. І навпаки, комісія не знайшла жодного підґрунтя для стверджень, що подальший розвиток атомної енергії може мати вирішальне значення для успішної стратегії захисту клімату.

Велика або зростаюча доля атомної енергії у виробництві електроенергії може виявитись навіть контрпродуктивною для успішної стратегії захисту клімату. Такі невід’ємні елементи цієї стратегії як нові джерела енергії та ефективне використання складно поєднати з атомними станціями. Такі види енергії як вітер та сонце потребують, починаючи з певного етапу, електростанцій з гнучким управлінням потужності, як наприклад, сучасні газові електростанції, для того щоб вирівняти коливання потужності, а

також електромережу, яка б відображала змінене географічне положення та в цілому децентралізовану структуру виробництва електроенергії.

Окрім того, масштабний розвиток атомної енергії був би в значній мірі пов'язаний з економічною ненадійністю. Тільки розвиток, а не стагнація на теперішньому рівні, зміг би зробити виробництво енергії на АЕС дійовим фактором у захисті клімату. Але для цього галузь повинна протягом декількох десятиліть подолати перехід від сучасних легководних реакторів до техніки відтворення атомного палива. А в цьому питанні вона вже одного разу зазнала поразки. На відміну від будь-якої іншої технології, атомна енергетика постійно знаходиться під Дамокловим мечем: однієї єдиної серйозної аварії або терористичної атаки було б достатньо для того, щоб від цієї технології остаточно відмовились на національному, або навіть міжнародному рівні. Очевидно, що більша частина реакторів має бути передчасно закрита. Зрештою нескінченна суперечка навколо атомної енергії є перешкодою у важливих промислових країнах на шляху переходу до послідовної стратегії ефективного енерговикористання. Розроблена стратегія як на національному, так і міжнародному рівні могла б мінімізувати дві великі небезпеки - глобальної зміни клімату та катастрофічних атомних аварій. Специфічний потенціал катастроф атомної енергії робить будь-яку стратегію захисту клімату, котра передбачає її використання, менш ефективною та іновативною, ніж стратегію без ядерноенергетичного варіанту. Конфлікт цілей між атомною енергією та захистом клімату виявляється тому штучним, він є винаходом захисників атомної енергії, які керуються своїми інтересами. Безглуздо та непотрібно вибирати між чортом та Вельзевулом.

8. Дешева атомна енергія: якщо держава сплачує рахунок

Атомні станції належать, як більш-менш значна частина забезпечення електрикою, до основи економіки країн, які її використовують. Тому вирішальним є, в якій саме галузі економічного життя відіграють роль стратегічні або військово-стратегічні інтереси, в першу чергу енергетичний комплекс. Він визначає це зазвичай виходячи з тверезих міркувань відносно економіки організації виробництва. Питання про те, чи можна порівнювати ядерне виробництво енергії з ліцензією на друкування грошей, або скоріше з бездонною бочкою, вирішується в залежності від обставин: якщо реактор вже 20 років надійно виробляє енергію, то є основа припускати, що він це буде робити ще стільки ж років, мова йде скоріше про перше. Але в будь-якому випадку до тих пір, поки не реалізується присутній у кожному ядерному виробництві скритий ризик катастрофи. Якщо мова йде про початок будівництва атомної станції та наступне відкриття нової будівельної серії, то в даному випадку можна порадити тільки одне – не братися за цей проект (якщо тільки не вдасться перекинути фінансові питання на третю особу).

Для інвесторів, які сьогодні стоять перед прийняттям рішення про побудову заміни або нових виробничих потужностей, атомні станції знаходяться не на першому місці. Така позиція базується на досвіді. В США у компаній-виробників реакторів з 1973р. не було жодного такого замовлення, яке б пізніше не було анульоване. В країнах західної Європи, окрім Франції, компанії чекали на замовлення чверть століття до 2004р. Сьогодні є одне у фінському Олкілуото. Загалом у світі за даними МАГАТЕ у 2005р. будуються 28 атомних станцій з загальною потужністю у 27 000МВт. Будівництво майже половини з них триває вже від 18 до 30 років. Щодо цілого ряду з них вже ніхто не сподівається, що вони взагалі коли-небудь будуть постачати енергію. Зазвичай їх називають „будівельні руїни”. Інші будівельні проекти, котрі, як розраховують, будуть завершені в наступні роки, майже всі реалізуються в Азії у неринково-економічному або умовно ринково- економічному просторі. З початку нового століття енергетичні потужності у світі щорічно зростають на

приблизно 150 000 кіловат. З них частка атомної енергії складає 2%. В США тільки за період 2002-2005р. було підключено парк електростанцій на вугіллі з загальною потужністю 160 000МВт. Вітрова промисловість, яка знаходиться на стадії становлення, лише у 2005р. принесла більш ніж 10 000МВт.

Наскільки жалюгідною є роль атомної енергії з огляду на гігантську глобальну добудову потужностей електростанцій, настільки ж рішуче борються компанії за збереження існуючих реакторів та продовження початково запланованого терміну експлуатації. Щоправда, середній вік всіх функціонуючих у 2005 році реакторів досяг 22 роки. Але це не завадило колишньому голові правління фірми Siemens Генріху фон Піреру під час передвиборчої кампанії того ж року переконати кандидата на посаду бундесканцлера Ангелу Меркель у необхідності продовження терміну експлуатації до 60 років, незважаючи на досягнутий консенсус щодо виходу з атомної енергії. Наприклад, для більшості з 103 атомних станцій в США за даними МАГАТЕ вже було отримано дозвіл на відповідне продовження терміну експлуатації, або вже подані відповідні заяви. В якості підґрунтя для своєї ідеї фон Пірер навів „економічний здоровий глузд.” І він-таки існує насправді, але до тих пір, поки не сталась велика аварія, не потрібен дорогий ремонт або заміна центральних компонентів, таких як парогенератор, через їх зношеність або корозію, поки виробляється дешева енергія зі старих, давно списаних реакторів класу 1000МВт. Таким чином, продовження терміну експлуатації затягує так званий кінець атомної енергії. Мається на увазі закриття та знос великих реакторів, які можуть представляти проблему не тільки з технічної, але і з фінансової точки зору. Оскільки поточні витрати на паливо при експлуатації атомної станції мають менше значення, енергетичні компанії розраховують на немалі додаткові прибутки. Якщо реактори зможуть працювати ще 45 років, замість обумовлених у договорі про вихід 32 років, що відповідає середньостатистичній тривалості життя електростанцій на викопному паливі, - то галузь отримала б додатковий прибуток на кругленьку суму близько 30 млрд. євро. Такі цифри пояснюють причину дискусій, що тривають у багатьох країнах щодо продовження терміну експлуатації. Щоправда все це не має ніякого відношення до можливого відродження атомної енергії. Скоріше навпаки. Вимоги щодо продовження підтверджують, що компанії побоюються інвестицій у нові атомні станції з економічних причин. Замість того, щоб вкладати інвестиції у нові ядерні або неядерні технології, підприємства продовжують жити за рахунок існуючих, не зважаючи на зростаючу ймовірність аварії на їх реакторах.

Тому занепад кон'юнктури атомної енергії, що почався декілька десятиліть тому, не припиняється. В США та західній Європі існують декілька новобудов, зокрема на фінському узбережжі Балтійського моря. До них ми ще повернемося. Водночас в останні роки все частіше стали з'являтися дослідження, які доводять конкурентоспроможність нових атомних станцій по відношенню до електростанцій на викопному паливі. Але ці дослідження мають один недолік: цим прогнозам на майбутнє вірять поки що тільки їх автори та їх замовники, а не потенційні інвестори. Це є першою причиною для абсолютної невпевненості щодо справжньої вартості нової генерації атомних станцій. Майже не існує достовірних даних про великі блоки витрат, тобто кошти на зведення, захоронення, а також поточні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування. Це, з одного боку, обумовлено тим, що практично всі опубліковані оцінки аналітиків розглядаються з великою мірою скепсису. Оскільки ці дані надходять, як правило, від виробників, які бажають продати атомні станції, і тому видають занижені цифри, або від урядів, об'єднаних та лобі, котрі бажають переконати громадян у перевагах атомної енергії за рахунок начебто низької вартості енергії, виробленої у такий спосіб.

Але існують і об'єктивні проблеми, не пов'язані з чиймись інтересами, оскільки до цього часу кожній новій серії доводилось боротись з так званими хворобами розвитку, які вимагали великих витрат, і внаслідок цього - довготривалих простоїв. Тому у потенційних інвесторів оптимістичні прогнози виробників нових реакторів викликають певну тривогу. Не можна передбачити, наскільки ефективно буде працювати нова атомна станція. Ще в більшій мірі це стосується нових типів реакторів, які в основному базуються на новій і не випробуваній техніці. В той час, коли при майже всіх інших технологічних розвитках, - і не тільки в сфері техніки АС, виробники йдуть відносно послідовно та впевнено шляхом до все більш сприятливих цін, виробники реакторів поводять себе як і раніше, півстоліття після початку комерційного розщеплення ядра. Саме тому у 70-х та 80-х роках пропонувалось будувати габаритні реактори у частково виправданому сподіванні на те, що вони загалом будуть виробляти енергію дешевше, ніж невеликі одиниці. Але чомусь досі чітка тенденція до все більш дешевих реакторів так і не стала реальністю. Тим часом ситуація загострюється тим, що через постійний занепад на цьому ринку, серії АЕС з вдосконаленою технологією поки що існують тільки на папері або у вигляді комп'ютерної анімації. Цей фактор знов ж таки підвищує невпевненість потенційних донорів. Таким чином, атомна енергія стає технологією підвищеного ризику не тільки з огляду на техніку безпеки, а і з фінансово-технічної точки зору.

В будь-якому випадку, ризиковий капітал можна залучити тільки за відповідними високими цінами. Капітальні витрати, поряд з витратами на будівництво, стають другою великою проблемою при фінансуванні АЕС. Але і ця проблема загострилась у важливих промислових країнах після лібералізації енергоринків. Коли у часи існування великих, монопольних структур, що підтримувались державою, інвестори могли виходити з того, що при неефективності реактора їх капітал може бути рефінансованим за кошти споживачів енергії, то на лібералізованому ринку це вже неможливо. Атомна енергія з її надзвичайно високими початковими інвестиціями та десятилітніми строками окупності капіталу не відповідає вимогам лібералізованих ринків. У багатьох країнах, де у попередні 20 років відбувся великий бум газових електростанцій, кошти на будівництво за кожну кіловат-годину були дійсно значно нижчі, а строк між передачею замовлення та початком експлуатації більш коротким. При цьому установки зводяться в основному серіями на фабриках у „контрольованих умовах”. Оскільки витрати на природний газ, які складають більшу частину в об'ємі загальних витрат, порівняно з паливом уран на атомних станціях, є відносно низькими, то в цьому відношенні у АЕС практично не було шансів.

Через цілу низку інших проблем атомні станції можуть перетворитись для кожного інвестора у гру ва-банк. Строки між рішенням про вкладання інвестицій та початком комерційної експлуатації є незрівнянно довгими у порівнянні з іншими технологіями. Можуть також виникнути величезні проблеми з плануванням, затримкою з дозволами, оскільки компетентні установи, які знаходяться під постійним громадським наглядом, діють особливо прискіпливо у питаннях умов для їх надання. Рішення про будівництво британського реактору Сайзвелл було, наприклад, прийнято у 1979р., а його комерційна експлуатація почалась через 16 років після цього. Якщо проект таки втілюється в життя, то ніколи невідомо, чи зможе він насправді видавати початково передбачену потужність, від якою врешті решт залежать прибутки. Ще більш важливою є надійність реактору протягом всього часу експлуатації. На відміну від капітальних коштів, можна завжди перевірити так званий коефіцієнт готовності. Загалом відомо, скільки часу експлуатується АЕС, як довго вона простоє через перевірочні роботи, заміну палива або внаслідок аварій. Коефіцієнт дорівнює відношенню фактичної тривалості роботи реакторної установки за календарний період експлуатації до суми цього часу та тривалості аварійних ремонтів.

Як правило, коефіцієнти готовності, які прогножуються виробниками зокрема при перших реакторах з серії, виявляються завищеними.

Якщо коефіцієнт готовності реактору досягає лише 60% від прогнозованих 90%, то витрати зростають на третину. Сюди ж додаються додаткові витрати на технічне обслуговування та ремонт. Тільки близько двох відсотків від всіх реакторів досягають готовності у 90% або більше, лише сотня реакторів у всьому світі – більше за 80%.

Обіцянки, які на початку у передчутті розквіту цієї сфери давались енергетичними компаніями про те, що атомні станції будуть працювати практично автоматично, і тому поточні витрати будуть нижчими, у порівнянні з іншими електростанціями з аналогічною потужністю, виявились також занадто оптимістичними. Хоча витрати на паливе становлять відносно невелику частину від загальної суми, вони зростають, коли замість „свіжого” оксиду урану застосовується так зване змішане оксидне паливо з певною часткою оксиду плутонію. Зате на експлуатацію і технічне обслуговування припадають значно більші витрати в порівнянні з газовими електростанціями, тому що це пов'язано зі значними витратами на утримання персоналу. В США наприкінці 80-х - початку 90-х років були відключені деякі атомні станції, тому що побудова та експлуатація нових газових електростанцій виявилось набагато дешевшими. В порівнянні з іншими технологіями, для атомних станцій повинні бути передбачені великі витрати і на період після введення в експлуатацію, тобто на ліквідацію радіоактивних відходів, на догляд за відключеними реакторами, і, на сам кінець, на знос реакторів після більш-менш довгого „періоду затухання”. Всі ці кошти треба заробити під час експлуатації та зберегти для пізнішого використання. Витрати, які при цьому мобілізуються для страхування проти можливих аварій, є різними у кожній країні. Визначити їх розмір дуже складно. При дисконтній ставці у 15% можна взагалі забути про кошти, які виникнуть через 15 або більше років. Але оскільки їх доведеться сплачувати нашим дітям, то це є ще однією причиною для невпевненості при фінансуванні реактору та при визначенні коштів на виробництво ядерної енергії.

Обговорення можливого повторення атомного буму 70-х років, що триває в декількох країнах, не знаходить підтвердження в дійсності. Окрім розмов про продовження терміну експлуатації реально майже нічого не відбувається. Конкретні нові проекти представляють собою абсолютні виключення. Переважна частина вже зведених атомних станцій базується на індійській, російській та китайській технологіях. Провідні західні виробники, як і раніше, не мають замовлень. Американське підприємство Westinghouse отримало за чверть століття одне-єдине замовлення. Для Framatome-ANP (66% належить французькому атомному концерну Areva та 34% - Siemens) та її попередника фінський реактор Олкілуото є взагалі першим замовленням за майже 15 років. Таким чином дискусія про ренесанс атомної енергії роздувається в більшій мірі не виробниками реакторів, а політиками та публіцистами, які вважають, що за допомогою атомної енергії та при зберіганні традиційних енергетично-промислових структур можна краще забезпечити дотримання зобов'язань щодо захисту клімату або уникнути дефіциту енергії. Така позиція не може залишитись без наслідків, оскільки чим більш інтенсивно політика та суспільство прискорюють реанімацію ядерної техніки, тим більш наполегливо потенційні інвестори вимагають державної підтримки.

В США адміністрація Буша робить ставки не тільки на продовження терміну експлуатації старіючого реакторного арсеналу, а і на побудову нових АЕС після виникнення енергетичного дефіциту в таких важливих штатах як Каліфорнія. Сезон руйнівних буревіїв у 2005р. дав новий поштовх для дискусій навколо потепління клімату, внаслідок

яких знов постало питання щодо необхідності побудови нових АЕС. Але поки що все залишається на рівні розмов та декларацій. Хоча декілька консорціумів намагаються отримати комбіновану ліцензію на побудову та експлуатацію нових реакторів. Але, як вони постійно наголошують, без державної підтримки ці наміри реалізувати не вдасться. Лише процедура видачі дозволу на будівництво нової серії буде коштувати приблизно 500 млн. доларів. Скільки будуть коштувати самі реактори, не знає ніхто. Зараз підприємства передбачливо вимагають від держави мільйонні дотації, на які вже дав згоду президент Буш. Прийнятий влітку 2005р. в Конгресі закон про енергетику передбачає фінансову допомогу для атомної енергії в розмірі 3,1 млрд. доларів на період до 10 років. Держава повинна, окрім того, взяти на себе відповідальність за можливе зволікання. Вже до того потенційні інвестори поставили перед Бушем вимогу підписати пакет документів, за якими в якості умови своєї участі вони вимагали фінансування, вільного від оподаткування, та гарантованих державою цін на закупівлю енергії. Окрім того, у випадку серйозних аварій держава повинна взяти на себе вирішення питань захоронення відходів. У Франції частково приватизований на сьогодні державний концерн EDF після довгих вагань у 2004р. визначився з місцем для пілотної установки Європейського реактора на воді під тиском. На відміну від попередніх часів, схильність держави до надання підтримки вже послабла. Колишній голова EDF Франсуа Русселі заявив, що в питанні будівництва такого реактора у найближчий час мова йде не про енергію, а про те, щоб „зберегти європейську промислову компетенцію в цій сфері”¹⁴. Іншими словами, за зведенням пілотної установки у Франції стоїть не енергетична, а промислово-політична мотивація.

Політичні мотиви відігравали значну роль і напередодні прийняття суперечливого рішення фінського парламенту про будівництво нового реактору. Поштовхом послужив зростаючий протягом останніх двох десятиліть енергетичний голод, що став наслідком вдвічі більшим споживанням енергії на душу населення у Фінляндії в порівнянні зі середньостатистичним споживанням в ЄС. Водночас у політиків стала зростати стурбованість щодо перспективи потрапити у занадто велику залежність від Росії у сфері енергозабезпечення, та побоювання, що вони не зможуть дотримуватись своїх зобов'язань щодо захисту клімату в рамках Кіотського протоколу без більш активного застосування атомної енергії. Замовлення побудувати на фінському узбережжі Балтійського моря пілотну установку європейського реактора на воді під тиском, французько-німецька компанія Framatome-ANP отримала від компанії з енергозабезпечення TVO. 43% акцій підприємства належать державі. З моменту офіційного початку будівництва в серпні 2005р. проект Олкіуото-3 служить для Міжнародної атомної спільноти доказом того, що і на лібералізованому ринку атомна енергія знову може стати вартою того, щоб вкладати в неї інвестиції. Але ця позиція сприймається із скептицизмом, оскільки маловірогідно, що такий реактор мав би шанси бути побудованим при нормальних умовах конкуренції.

Фінансування стало можливим завдяки схемі, при якій 60 пайщиків, в основному компанії-постачальники енергії, поставили в якості умови своєї участі вимогу, що енергія, вироблена пізніше на реакторах, буде продаватись за порівняно високими цінами. Окрім того, TVO та Framatome-ANP домовились про фіксовану ціну зданого „під ключ” реактора, яка має становити 3,2 млрд. євро. Вже перед початком робіт виявилось, що консорціум виробників Areva/Siemens встановив дуже сміливі рамки при розрахунках, для того щоб продемонструвати нібито існуючі переваги реактору-прототипу в порівнянні до електростанцій на викопному паливі та іншими компаніями з атомної сфери.

¹⁴ Франсуа Русселі

Вже під час розробки реактору на початку 90-х років постійно підвищувалась його потужність, що мало забезпечувати його рентабельність. Таким чином ми маємо реактор з проектною потужністю 1 750МВт та видатністю у 1 600МВт, тобто найбільш потужну атомну станцію у світі. Але це значно ускладнює його інтеграцію у більшість мереж. Ряд інших прогнозів, які роблять реактор конкурентноспроможним в порівнянні з іншими, неядерними можливостями (поки лише на папері), можуть виявитись нездійсненими. Обіцяно: тривалість будівництва - 57 місяців, коефіцієнт готовності - 90%, коефіцієнт корисної дії - 36%, технічна тривалість життя - 60 років, менша на 15% потреба в урані на відміну від попередніх реакторів, та значно нижчі у порівнянні з існуючими реакторами кошти на експлуатацію та технічне обслуговування.

На думку фахівців, кожен з цих показників є дуже оптимістичним прогнозом. Але досі не досягнуто а ні бажаної тривалості будівництва, а ні обіцяної готовності колишніх пілотних реакторів. Очевидно, що і це німецько-французьке спільне підприємство не обминуть затримки у будівництві, хвороби розвитку на перших стадіях експлуатації та незаплановані відключення. Але все ж таки кошти на експлуатацію та технічне обслуговування, навіть після 60 років експлуатації будуть меншими, ніж у існуючих стандартних реакторів. Водночас додаткові установки безпеки, як так званий „уловлювач активної зони” повинні зробити реактор більш надійним, але не дорожчим, ніж його попередники.

Але вірогідність, що ці обіцянки можуть бути реалізованими в Олкілуото, майже виключена. Навіть при повному дотриманні всіх параметрів, зокрема щодо тривалості будівництва, розрахована ціна у розмірі 3,2млрд. доларів є дуже прикрашеною. Початково стільки повинно було коштувати „серійне виробництво” близько 10 реакторних блоків, появи яких не видно і на горизонті. В інших сферах економіки для такого ціноутворення є чітке поняття - демпінг.

Якщо кошти на будівництво дійсно зростуть, то з огляду на домовлену фіксовану ціну з фінським клієнтом, для Framatome-ANP цей проект може швидко перетворитися на жах.

В такому разі це торкнеться і держави, як напередодні при наданні гарантій фінансування. Тоді важливу роль відіграв баварський банк Landesbank з головним офісом в Мюнхені, 50% капіталу якого належить вільній землі Баварія, де будівельник реакторів фірма Siemens також має головний офіс. Він є партнером одного міжнародного консорціуму, який підтримав будівництво фінського реактору кредитом з низькими процентами (процентна ставка складає, як стверджують, 2,6%) у розмірі 1,95млрд. євро. Французький уряд через експортне кредитне агентство Coface підтримав основну фірму Framatome-ANP, Aegva експортною кредитною гарантією у розмірі 610млн. євро, яка, правда була зарезервована для інвестицій у політично та економічно нестабільні країни. Європейська федерація поновлюваної енергії (EREF) подала скаргу в Єврокомісію з приводу порушень правил конкуренції через явну концентровану підтримку з боку багатьох особливо зацікавлених кран.

Можна бути певним, що без державної підтримки рішення щодо фінського реактору було б зовсім іншим. В цьому випадку допомога прийшла від країни-виробника та країни-покупця. Очевидно, що атомна енергія є конкурентноспроможною тільки там, де для її потреб надаються дотації у значному розмірі, або в країнах, де ядерна технологія є в більшій або меншій міри частиною державної доктрини, тобто коли кошти грають другорядну роль. Де б у майбутньому не розглядалась можливість зведення нових реакторів у функціонуючому ринково-економічному просторі, у інвесторів напевно виникне потреба у державній підтримці для гарантій при зростанні витрат на будівництво,

під час експлуатації проти неочікуваного періоду простою, при коливаннях цін на паливо, та через кошти на відключення, знос та захоронення, які важко розрахувати. Врешті, держави повинні та будуть намагатись побороти наслідки кожної майбутньої аварії зі значним виділенням радіації. Жодне з підприємств не зможе впоратись з цими проблемами самотужки.

Таким чином атомна техніка має особливе положення. Через півстоліття після її комерційного запуску, підкріпленого багатомільярдними дотаціями, її протагоністи знову потребують, вимагають та отримують державні субсидії для запуску нових реакторів, ніби мова йде про фінансування підтримки при впровадженні на ринок. Дивовижним є те, що ця тактика підтримується та схвалюється політиками, які взагалі саме в енергетичній політиці вже не можуть вимагати „більше ринку”.

Ті ж самі політики в багатьох промислових країнах виступають з аргументами проти фактичної підтримки введення на ринок енергій сонця, вітру, води, біомаси або геотермії. Але все ж таки існує принципова різниця: всі шанси атомної енергії вже в минулому, а відновлюваної енергії – у майбутньому.

Висновок: ренесанс декларацій

Від враженням від кліматичної та енергетичної кризи, що посилюється, дискусія щодо атомної енергії набуває нових масштабів в ряді важливих промислових країн. Теза про „ренесанс атомної енергії”, що підтримується виробниками реакторів та їх публіцистичними рупорами, є проявом майбутньої ситуації, коли треба бути приймати принципові рішення. Маса збудованих у світі в період першої, та на сьогоднішній день останньої, кон’юнктури атомної енергії реакторів наближається до своєї проектно-технічної вікової межі. В наступні 10-20 років має бути замінена ядерна потужність електростанцій, яка стрімко зменшується. Мова йде про вибір між новими, неядерними електростанціями або продовженням виробництва атомної енергії. Деякі важливі ядерні держави розглядають питання щодо продовження початково запланованого терміну експлуатації своїх реакторів. Ця можливість є дуже привабливою для енергетичних компаній, які таким чином зможуть відмовитись від своїх рішень про вкладання мільйонних інвестицій, та отримувати прибуток з дешевих поточних коштів від виробництва енергії. Кожний окремих менеджер може тільки суб’єктивно оцінити пов’язаний з цим незаперечний ризик. Всі завжди розраховують на те, що велика аварія може статися будь-де, але тільки не на його атомній станції і відповідальність буде нести хтось інший. Але треба усвідомлювати, що продовження терміну експлуатації на порядок підвищує ризик катастрофи. Якщо всі або більшість атомних станцій будуть експлуатуватись більше, ніж заплановано, це означає значне зростання ризику в цілому.

Майбутні рішення питання щодо того, як буде відбуватись глобальне стабільне енергозабезпечення у світі та тлі зростання населення та падіння добробуту, виходить за рамки питання майбутнього поводження з атомною енергією. Відповідальність несуть всі розвинуті промислові країни та багато країн, що розвиваються, які або взагалі не використовували атомну енергію до цього часу, або використовували у дуже незначному обсязі. Але вже сьогодні ясно: нова структура не буде базуватись вже виключно або переважно на великих одиницях електростанцій. Тому очевидно, що майбутнє не за реанімацією ризикових технологій середини минулого століття, які тісно пов’язані з інтересами традиційного енергетичного сектору.

Поки що ми не спостерігаємо ренесансу ядерної енергії, а лише ренесанс декларації про атомну енергію. Напередодні двадцятої річниці Чорнобильської катастрофи відроджуються дискусії про такий вид отримання енергії, а у деяких - і сподівання на нього. Активізуються також суспільно-політичні дискусії в ряді країн, важливих для майбутнього атомної енергії. Чим вони закінчатся, не відомо. Проект зведення АЕС у Фінляндії нічого не доводить. Відомих сьогодні проектів новобудов, затверджених у світі, не вистачить для того, щоб забезпечувати виробництво енергії атомними станціями на постійному рівні. Нові проекти будівництва АЕС існують поки лише там, де ця форма виробництва енергії є частиною державної доктрини, або там, де державні установи готові взяти на себе відповідальність за страхування від технічних та фінансово-технічних ризиків. Ті, хто сьогодні бажають будувати нові атомні станції, або де, як в США, такі імпульси ідуть від політиків, потребують підтримки держави майже так, як і піонери атомної енергії у 60-х роках 20-го століття.

Звучить парадоксально: впровадження на ринок ядерної енергії вдалось свого часу, оскільки не існувало енергетичного ринку, який би міг зробити її нерентабельною. Оскільки тоді енергозабезпечення, з одного боку, вважалось „природною монополією” через монополії на мережу, та, з іншого боку, належало до забезпечення існування суспільства, ним займались державні або близькі до держави, але в будь-якому випадку монополії, підприємства. В більшості промислових країн при впровадженні ядерної енергії саме держава спочатку задавала тон з відверто або приховано військових, а - пізніше змішаних чи виключно промислово-політичних мотивів. Суспільство брало на себе величезні витрати на дослідження, розробку та введення на ринок нової технології. На лібералізованому, функціонуючому енергоринку добудова атомних станцій вже не є привабливою для підприємств. Є більш вигідні можливості з набагато меншими економічними ризиками. Тому в ринково-економічному просторі нові АЕС не будуються, хоча в цілому збільшується і енергетична потреба і потужність електростанцій, за винятком випадків, коли суспільство знову бере на себе більшу частину ризиків, як колись при впровадженні атомної енергії. Це – фінський шлях. Але його не можна узагальнювати, тому що на функціонуючому ринку виробників атомних станцій конкуренти з інших сфер не будуть довго бездіяльно спостерігати за одностороннім державним утриманням 50-річної технології. В цьому відношенні фінський проект йде іншим шляхом, ніж Framatome-ANP, яка майже через 20 років після початку розробки Європейського реактору на воді під тиском має намір врешті решт пред'явити демонстраційний реактор, а основні компанії Areva та Siemens очевидно готові піти на значні фінансові ризики. Нагадаємо, що у 1992р. Siemens та Framatome рекламували спільний реактор „як німецько-французьку атомну станцію для Європи та світового ринку”, яка за їх словами спочатку мала завоювати „вітчизняні ринки” по обидві сторони Рейну, а потім і треті країни. Для обох пілотних реакторів початок робіт був назначений на 1998р., а вже у 1990р. німецьке видання „Wirtschaftswoche“ проголосило у статті під заголовком „Ядерний ренесанс” кінець тривалого атомного застою.

Неупереджена переоцінка всіх аспектів атомної енергії приводить сьогодні, як і на початку 21 століття, до однозначного висновку. В цілому він звучить так само, як і 30 років тому: ризик катастроф, які зробили тоді атомну енергію найбільш суперечною формою виробництва енергії, нікуди не зникли. Нові терористичні небезпеки категорично виключають поширення цієї технології в нестабільних регіонах світу. Глобальна розбудова ядерного виробництва енергії призвела б до дефіциту палива уран ще скоріше, ніж збереження Status quo, або до масштабної переорієнтації на технологію розмноження. Це означало б остаточний перехід атомної технології на так званий плутоніумний шлях. Він в свою чергу підвищив би ризик катастрофічних аварій, терористичних атак та поширення ядерної зброї до нового, ще більш критичний рівень. Не

в останню чергу з цієї причини майже всі держави після перших невдач на цьому шляху у минулому відмовились від цього варіанту. З технологією розмноження чи без неї, залишається невирішеною і проблема захоронення відходів. Вирішення має бути знайдено вже тому, що ці відходи реально існують і їх треба десь надійно зберігати і захоронювати. І тому неприпустимо ще більше загострювати цю загальнолюдську проблему шляхом збільшення обсягу відходів.

Атомна енергія не може також вирішити проблеми клімату. Навіть збільшення ядерної потужності втричі до середини 21ст. забезпечило б дуже скромний внесок для захисту клімату. Це не тільки нереалістично, але і безвідповідально з огляду на недостатні промислові потужності, величезні кошти та збільшення пов'язаних з цим ризиків в декілька раз. Навпаки, враховуючи вік функціонуючих атомних станцій, більш вірогідним є значне зменшення глобальної потужності реакторів в наступні десятиліття. Водночас навіть грубі підрахунки показують, що глобальна енергетична стратегія, яка робить ставку в першу чергу на більшу ефективність енергогосподарства, промисловості, транспортний сектор та розвиток поновлюваної енергії, може виконати вимоги дослідників клімату щодо зменшення викидів CO² і без застосування атомної енергії. Пов'язаний з цим виклик є безпрецедентним та ставить не менші вимоги, ніж світова політика щодо клімату, яка стосується всіх значних промислових держав. Конфлікт цілей „захист клімату або вихід з атомної енергії” залишається, тим не менше, химерою, породженою інтересами атомно-енергетичної сфери.

Ми побачили: без значного втручання держави у найближчому майбутньому відродження атомної техніки не станеться. Але це не означає, що воно виключено, оскільки ще більше, ніж енергетична галузь, яка і надалі хоче використовувати старі інвестиції, політика, під впливом стрімко зростаючих цін на енергію та в очікування жорстких зобов'язань стосовно захисту клімату, все більш активно намагається висунути атомну енергію на передній план. Ці два аспекти підігривають дискусії в США, вони ж були поштовхом для будівництва нового реактору в Фінляндії, для розгляду можливості щодо виходу з атомної енергії в Німеччині та недавньої дискусії про будівництво нових реакторів у Великій Британії. Політики схильні співпрацювати з тими структурами та з тими суб'єктами, які вони вже знають. Тому деякі з них не побоятися через майже півстоліття після початку комерційного виробництва енергії в атомних станціях ще раз надати допомогу при впровадженні атомної енергії на ринок, ніби так і повинно бути.

Всюди, де відбувається щось подібне, буде спалахувати дискусія про новобудови. Нові реактори не зможуть стримувати ні потепління клімату в довготривалій перспективі, ні зростання цін на енергію. Замість того, вони будуть загострювати пов'язані з виробництвом енергії ризики та відхиляти від інших стратегій захисту клімату, які можуть бути ефективними. Іншими словами, як і за часів перших запеклих дискусій навколо ядерної енергії у 70-ті та 80-ті роки 20-го століття, противники атомної енергії продовжують наводити найпереконливіші аргументи.

Список літератури:

Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages (2002): Bericht der Enquete-Kommission. Bundestags-Drucksache 14/9400.

ESA 2005. Euratom Supply Agency. Annual Report 2004
<http://europa.eu.int/comm/euratom/ar/ar2004.pdf>

Diehl, Peter (1995): Uranium Mining in Europe – The Impacts on Man and Environment. *WISE News Communique* 439/440 (September, Sonderedition)

IAEA – International Atomic Energy Agency (2001): Analysis of Uranium Supply to 2050. Wien: STI/PUB/1104, http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1104_scr.pdf

IEA – International Energy Agency (2001): Nuclear Power in the OECD. Vienna.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2000): Special Report Emissions Scenarios. Cambridge.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2005): IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage. Cambridge.

Hahn, L. (1999): Kernkraftwerke der Welt – Bestand, Funktionsweise, Sicherheitsprobleme; in: Gefahren der Atomkraft. Ministerium für Finanzen und Energie des Landes Schleswig-Holstein, 2. aktualisierte Auflage, Kiel.

Hirsch, H., O. Becker, M. Scheider, and A. Froggatt (2005): Nuclear Reactor Hazards, Ongoing Dangers of Operating Nuclear Technology in the 21st Century. Greenpeace International.

Koch, Egmont R. (2005): Atomwaffen für Al Qaida. Berlin.

Krause, Joachim (1998): Strukturwandel der Nichtverbreitungspolitik. München.

Lovins, A. B. (2005): Nuclear power: economics and climate-protection potential. Rocky Mountain Institute (www.rmi.org/sitepages/pid171.php@E05-08)

Münkler, H. (2003): Die neuen Kriege. Frankfurt/Main, Wien und Zürich.

Peht, M., M. Cames et al. (2005): Micro Cogeneration. Towards decentralized energy systems. Berlin/Heidelberg.

Schneider, M., and A. Froggatt (2004). The World Nuclear Industry Status Report 2004. Commissioned by the Greens-EFA Group in the European Parliament (December). Brussels.

Shell (2002): Energy Needs, Choices and Possibilities Scenarios to 2050. Scenarios to 2050. Shell International.