

К. СИТНИК, В. БАГНЮК

ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ: ВНЕСОК АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Історія знає немало прикладів з політичної, економічної й екологічної сфер, коли, переслідуючи корисливі цілі, спритні авантюристи і лжепророки нав'язували свою волю і хибні стереотипи у розв'язанні нагальних проблем людства. Нерідко це призводило до тяжких наслідків, за які доводилося розпачуватися народам, державам, а то й цілим цивілізаціям.

Проблема глобального потепління спонукає до глибшого наукового аналізу його причин у контексті збільшення населення планети і нарощування енергетичних потужностей. Чи може сприяти стабілізації парникового ефекту розбудова широкої мережі АЕС, чи самі атомні електростанції є чинником теплового забруднення?

Досліджуючи це питання, автори статті вказують на певні прорахунки в енергетичній стратегії нашої держави, пропонують перспективні шляхи зменшення теплових викидів у біосферу, що водночас сприятиме і розв'язанню енергетичної проблеми в Україні.

Розглядаючи різні аспекти парникового ефекту і глобального потепління, слід підкреслити такий факт: попри досягнення науково-технічної революції, людство ввійшло у третє тисячоліття з довгим шлейфом проблем традиційної теплової і нової атомної енергетики та застарілими, екологічно брудними технологіями промислового і сільськогосподарського виробництва. Інтенсивне збільшення населення планети, чисельність якого зросла з 2,5 млрд у 1950 р. до 6,1 млрд осіб у 2000 р., потребує нарощування обсягів енергогенеруючих потужностей та виробництва валового продукту.

Давно відомо: щоб передбачити майбутнє, треба вдумливо проаналізувати минуле. А воно засвідчує, що лише за останнє десятиліття споживання енергії на душу населення зросло втричі. Оскільки, за оцінками ООН, чисельність землян у 2020–2050 роках становитиме близько 8,2 млрд осіб, а споживання енергії у середньому подвоюється кожні 10–15 років, неважко передбачити, наскільки підвищаться потужність енергогенеруючих станцій та обсяги викидів їхніх відходів у довкілля. Упродовж 1950–1990 років світовий видобуток нафти зріс у 6,2 раза, природного газу — в 13, вугілля —

© СИТНИК Костянтин Меркурійович. Академік НАН України. Директор Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України.

БАГНЮК Валентин Миронович. Кандидат біологічних наук. Старший науковий співробітник цього ж інституту (Київ). 2005.

у 2 рази, що спричинює швидке виснаження надр. Щодо нафти, яку образно називають «кров'ю промисловості і транспорту», то, за відомими оцінками, її запасів вистачить на 63–95, а за деякими прогнозами — на 50 років, ресурсів кам'яного вугілля — приблизно на 250–300 років. Хоча прогнозовані запаси природного газу у світі становлять близько 360 млрд тонн умовного палива, вони також швидко вичерпуються, їх може вистачити років на сто.

У зв'язку з виснаженням доступних родовищ органічного палива їх видобуток постійно ускладнюється і дорожчає. Тож не дивно, що ціна на ці енергоресурси неухильно зростає. Не слід також забувати, що спалювати нафту, вугілля і газ з метою одержання електроенергії і тепла марнотратно і безглуздо. Адже це — незамінна сировина для хімічного синтезу широченного асортименту важливої для народного господарства продукції: реагентів, фармакологічних препаратів, пластичних мас, розчинників, пестицидів, штучних волокон тощо. Це добре розумів ще Дмитро Менделєєв, який влучно зауважив: «Спалювати нафту — все одно, що опалювати житло асигнаціями».

Як відомо, теплова енергетика належить до екологічно найбрудніших джерел енергії. Це особливо стосується станцій, на яких паливом є вугілля, торф, сланці, мазут. Так, теплова електростанція (ТЕС) потужністю 1 Гвт (гіга — 10^9), що працює на вугіллі, залежно від технології спалювання і якості палива, викидає в атмосферу впродовж року від 10 до 120 тис. тонн оксидів сірки, 2–20 тис. тонн оксидів азоту, 3–7 млн тонн вуглекислоти, 700–1500 тонн попелу і сажі та інші дуже шкідливі продукти неповного згоряння на кшталт бенз-а-пірену і діоксинів. До того ж за цей час на золівідвали надходить близько 300 тис. тонн шлаків, які містять кілька сотень тонн високотоксичних хімічних елементів та різноманітні

радіонукліди. Техногенні викиди у довкілля спричинюють погіршення здоров'я людей, завдають шкоди рослинному і тваринному світові.

Окрім того, ТЕС, що мають низькі коефіцієнти корисної дії (ККД), розсіюють у навколишній простір величезну (42×10^{12} кДж) кількість теплоти. Багато тепла втрачається на теплотрасах, в опалювально-охолоджувальних системах, на металургійних, коксохімічних та інших підприємствах, а також розсіюється транспортними засобами, побутовою технікою тощо. Важко відповісти напевно, яка кількість теплоти разом із газами і сажею надходить у довкілля, коли горять нафта і газовий конденсат у процесі їх добування, під час військових дій і терористичних актів. Але в тому, що це дуже шкідливо для довкілля, ми переконалися на прикладі Кувейту, Іраку та інших країн. Зрозуміло, що будь-яке розсіювання тепла у навколишньому просторі сприяє потеплінню. Ілюстрацією до зазначеного може слугувати той загальновідомий факт, що температура повітря всередині міста на кілька градусів вища, ніж за його межами. З огляду на теплове забруднення біосфери слід налагодити систему його регламентації — як на регіональному, національному, так і на глобальному рівнях.

Відомо, що АЕС на 1000 Мвт потужності викидають у довкілля 7300 Гдж/год. теплоти. Будівництво нових реакторів і зростання у зв'язку з цим сумарної потужності АЕС породжує проблему «теплових островів», які провокують зміни природних циркуляційних процесів в атмосфері та у водоймах, що приймають перегріті води. Особливо це проявляється взимку, коли випаровується велика кількість вологи та утворюються густі тумани.

Враховуючи тенденцію невпинного нарощування потужностей АЕС, що найближчим часом досягне 6000 Мвт на один реактор, для охолодження конденсаторів таких стан-

цій необхідно витратити води $300 \text{ м}^3/\text{сек}$, а це дорівнює витраті середньої ріки. Якщо температура води охолоджувальних водойм зростає на $8-10 \text{ }^\circ\text{C}$, то у них створюються несприятливі умови для життєдіяльності угруповань гідробіонтів, що, зрештою, призводить до трансформації водних екосистем, елімінації цінних видів, зокрема риб, раків, кормової фауни, а також до «цвітіння» і погіршення якості води. Додаткове теплове навантаження на водойму на рівні $220 \text{ Вт}/\text{м}^2$ різко збільшує річне випаровування води з її поверхні: на півдні України — вдвічі, на півночі — майже ушестеро. Для Харківської області, наприклад, місячний шар випаровування води при тепловому навантаженні 220 і $400 \text{ Вт}/\text{м}^2$ відповідно становить 170 і 447 мм [3]. І хоча використання градирень виявляється меншим лихом, саме до цього методу охолодження агрегатів найчастіше вдаються енергетики: вивів трубу у найближчу ріку чи водосховище — і «кінці у воду».

Як бачимо, така стратегія задоволення енергетичних потреб людства не може не породжувати серйозних економічних й екологічних проблем. Простежимо хронологію цієї стратегії.

До XVIII ст. люди обходилися лише сонячною енергією, акумульованою у процесі фотосинтезу. Це були деревина, інша рослинність, відходи сільського господарства та енергія води і вітру. Пізніше, крім згаданих джерел, почали дедалі ширше використовувати викопне паливо, законсервоване протягом минулих геологічних епох: вугілля, нафту, торф, сланці, природний газ і його конденсат.

З часом ненаситні технології промисловості, сільського і комунального господарств потребували експоненціального зростання виробництва енергії. Так, наприклад, збільшення втриє врожайності зернових культур у XX столітті досягли завдяки майже сторазовому зростанню енергозатрат. Звісно, за-

безпечення восьми мільярдів землян продовольством, одягом, взуттям, побутовими приборами, авто та іншими благами цивілізації потребуватиме безпрецедентного освоєння природних ресурсів і супроводжуватиметься збільшенням обсягів газоаерозольних, рідких і твердих викидів у довкілля та загостренням екологічної кризи. На превеликий жаль, проголошення ООН засад сталого розвитку поки що багато в чому залишається декларацією і не супроводжується помітним підвищенням екологічної культури людей та масштабним впровадженням ресурсоощадливих технологій.

Як сповіщають фахівці [6], за нинішніх темпів зростання обсягів енерговиробництва вже на початку XXI століття рівень добування енергії сягне 100 тис. Твт (терра — 1×10^{12}), що наблизить нас до критичної межі, бо може призвести до перегрівання Землі з непередбачуваними для біосфери наслідками.

У зв'язку з цим постає низка принципових запитань. Наскільки вистачить наявних природних ресурсів для задоволення зростаючих потреб сучасної цивілізації? Чи витримає біосфера техногенний тиск, який здійснюватимуть економіка й енергетика за чисельності населення $8-10$ млрд осіб? Чи спрацюють при цьому механізми підтримання гомеостазу та чи можливою буде коеволюція людини і біосфери?

Грунтуючись на фундаментальній парадигмі буття, згідно з якою людське суспільство може існувати лише за певного (досить вузького) діапазону параметрів біосфери, слідом за «Римським клубом» доходимо висновку: за такої щільності народонаселення, чинних технологій енерговиробництва і неощадливого господарювання підтримання гомеостазу нашого дому — біосфери Землі — стане неможливим. Малоімовірним видається і збереження здатності біосфери до самоорганізації за цих умов та її перехід у нову якість — ноосферу.

Отже, можна очікувати принаймні два варіанти розвитку подій.

Перший варіант. Відновлення гомеостазу біосфери за рахунок таких фундаментальних властивостей живої матерії, як її мінливість, здатність до адаптації, реалізації прямих і зворотних інформаційно-енергетичних зв'язків між окремими підсистемами. Для досягнення цього необхідні час та відповідні матеріальні, енергетичні й інформаційні ресурси не тільки самої Землі, а й усього Всесвіту.

Другий варіант. Запуск каскаду руйнівних процесів у біосфері. Але це вже апокаліпсис!

У відповідь на ці рядки дехто з переконаних оптимістів не без іронії може заперечити нам, процитувавши солдата Швейка: «Ще ніколи не було так, щоб було ніяк». Мовляв, наслухалися на своєму життєвому шляху всіляких віщунів й астрологів про черговий армагеддон: і наприкінці ХХ століття, і на його початку, і так упродовж сотень років. Однак тепер ідеться про можливість космічну катастрофу в 2012 році, що нібито загрожує існуванню нашої ойкумени. Оптимісти вважають: усе якось перетреться і буде так, як і було. Та, на превеликий жаль, не перетреться. Щоб забезпечити майбутнє нашому дому і нам самим, без втручання Творця, авторитетні експерти «Римського клубу» рекомендують зменшити техногенний тиск на біосферу щонайменше у 1000 разів. Наскільки це реально у нинішній ситуації, нехай робить висновок сам читач.

Характеризуючи сучасний техногенний прес, бачимо, що нині найбільше впливають на біосферу енергостанції. Світове споживання первинних енергоносіїв у 1998 р. досягло 8,477 трлн т умовного палива (1 т у. п. — 29288 кДж енергії). При цьому на нафту припадає 40%, на природний газ — 24%, на вугілля — 27%, решта — ядерне паливо. Частка вугілля становить:

у Росії — 26% , Україні — 27%, США — 44%, Німеччині — 58%, Китаї — 70%, Австралії — 86%, ПАР — 90%, Польщі — 96%. Спалювання вуглеводневого органічного палива поповнює атмосферу газами, що, як вважається, спричинюють парниковий ефект. Останній на 62% визначається присутністю водяної пари; азоту, озону, кисню, метану, водню — на 30%, діоксиду вуглецю — на 7%. Внаслідок спалювання органічного палива в атмосферу щороку викидається 5,9 млрд тонн CO₂ [7]. І хоча, як бачимо, емісія вуглекислоти не є основним парниковим газом, вона може слугувати надійним маркером парникового ефекту.

На відміну від більшості аерозолів, які охолоджують атмосферу шляхом збільшення її здатності відбивати сонячне випромінювання у космос, частинки сажі — неодмінного компонента димових викидів — навпаки, сприяють підвищенню температури Землі, бо вони добре поглинають теплові промені. Однак, як вважають дослідники, внесок дисперсної сажі у парниковий ефект поступається впливу емісії вуглекислоти. Група науковців з Інституту космічних досліджень ім. Годварда (НАСА) США і Національного наукового фонду КНР створили математичну модель. Вона підтвердила, що техногенні викиди сажі (головним чином Китаєм й Індією) є причиною похолодання посух упродовж останніх двадцяти років на північному сході Китаю та літніх паводків — у його південно-східній частині. Це пов'язано з тим, що сажка, змінюючи влітку над Азією мусонну циркуляцію в атмосфері, спотворює систему опадів у Китаї. Проте подальше збільшення обсягів газоаерозольних викидів призведе до похолодання на території Китаю, поширення процесів спустелювання у Північній Африці і зниження середніх температур у південних штатах Америки. Звісно, згадані регіональні зміни клімату не можуть не накладатися на процес глобального потепління.

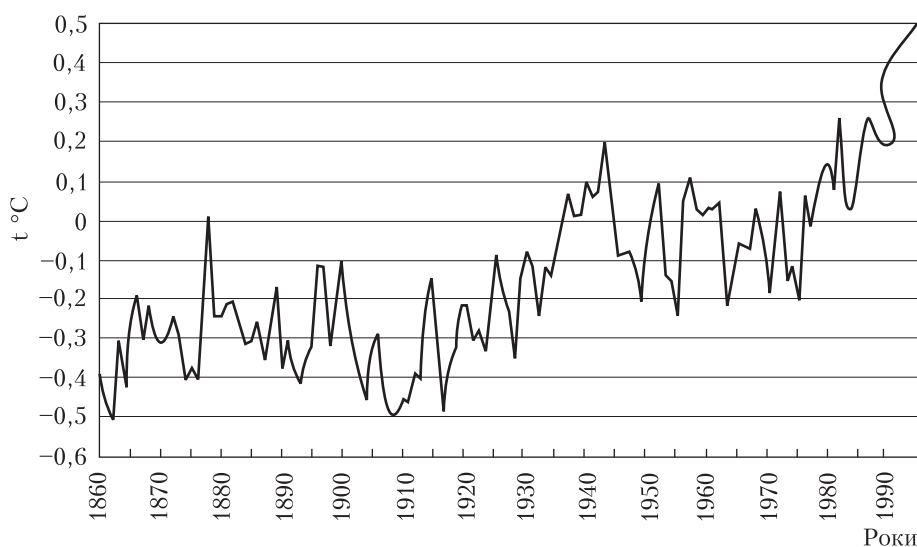
Тривожним прогнозам фахівців щодо глобального потепління, яке, на їхню думку, здебільшого пов'язане з емісією парникових газів, присвячена велика кількість повідомлень у всіх засобах масової інформації. Однак, слід підкреслити, що така точка зору не є одностайною. Наприклад, деякі китайські вчені вважають, що зміни клімату прямо пов'язані із сонячною активністю, яка коливається за циклами різної тривалості, тому парниковий ефект тут не винен (News Battery.Ru — Аккумулятор новостей, 28.12.2004). Дехто вважає, що, навпаки, парниковий ефект порятує землю від чергового зледеніння. Так, колишній президент Астрономічного товариства Фред Хойл і професор Кардіфського університету Чандра Вікрамашинг (Велика Британія) стверджують, що не слід заважати глобальному потеплінню. На думку цих дослідників, земна атмосфера поступово забруднюється космічним пилом, що ніяк не пов'язано з людською діяльністю. Тим часом це колись може призвести до нового всесвітнього зледеніння і загибелі нашої цивілізації.

Приблизно такого ж погляду дотримується відомий російський кліматолог А.С. Монін, який разом зі своїм учнем А.О. Берестовим [10], залежно від сонячної прецесії, виділяє 4 групи кліматичних циклів: короткі (від року до кількох десятків років), міжвікові (від сотень до тисяч років), льодовикові (тривалістю від десятків до сотень тисяч років) та геологічні (сотні тисяч — мільйони років). Хід міжвікових кліматичних циклів учені відстежували за дендрохронологічними рядами, тобто за послідовністю ширини річних кілець у видів дерев, що живуть по кілька тисяч років. При цьому з метою продовження дендрохронологічних рядів відрізки послідовних віків дерев, які росли суміжно, склеюють за найпомітнішими аномаліями (пожежі, буревії, епіфітотії тощо). Так, найтриваліший дендрохроно-

логічний ряд, що отримав назву «стежки Мафусаїла», було створено Д. Грейбіллом на прикладі остистої сосни (Каліфорнія): він налічує майже 8000 років. Оскільки згаданому методу притаманні недоліки (недостатня вибірка даних, статистична розбіжність, зумовлена мікрокліматичною мінливістю), кліматологами і палеонтологами широко використовується також метод аналізу колонок «вічних» льодів, осадових порід та океанічних осадів. Здебільшого на підставі отриманих за допомогою цих методів результатів встановлені такі міжвікові коливання клімату, як: кліматичний оптимум голоцену 4—2,5 тис. років до н.е., середньовічні оптимуми X—XIV ст., малий льодовиковий період XVI—XIX ст. Потепління XX століття визначено прямим вимірюванням температури повітря (рис.).

Згадані автори вивчали також статистичні зв'язки між коливаннями ізотопного відношення дейтерію до вмісту парникових газів (двоокису вуглецю і метану) у пухирцях атмосферного повітря, законсервованих у товщі льоду російської станції «Восток» і вони дійшли висновку, що в історії біосфери були періоди, коли коливання температури випереджали коливання вмісту парникових газів на кілька століть. На думку названих дослідників, у періоди аномального зниження хмарності Світовий океан спочатку прогрівався, а вже потім зростала евазія в атмосферу парникових газів. Наступний висновок А.С. Моніна і А.О. Берестова виявився ще несподіваним: парниковий ефект не причина, а наслідок потепління.

Таким чином, глобальне потепління клімату, як вважають дослідники, не слід пояснювати антропогенною емісією газів. Ми також віддаємо належне факту коливання інтенсивності сонячного випромінювання, проте з цією точкою зору, мабуть, важко погодитися принаймні з двох причин. По-перше, будь-яке підвищення температури



Аномалія глобальної температури (°C) у 1861 – 1990 рр.

одразу ж спричинює збільшення обсягів випаровування водяної пари, яка є найсильнішим чинником парникового ефекту. По-друге, вірогідно виявити цей факт за згаданими ізотопними кривими навряд чи можна, оскільки методу притаманні недоліки, про які йдеться, наприклад, у монографії В.В. Поліщука і В.В. Шепи [11]. На користь нашого бачення проблеми працює, зокрема, теорія «водяного купола», у вірогідності якої сьогодні мало хто сумнівається.

І все ж переважна більшість учених, базуючись на сучасних спостереженнях і великому палеонтологічному матеріалі, переконана, що техногенний парниковий ефект і провоковане ним глобальне потепління несуть загрозу для людства і біосфери. Здається, немає великого перебільшення у заголовках повідомлень, які циркулюють в Інтернеті, на кшталт: «Від підвищеної температури до 2070 р. льоди Північного Льодовитого океану розтануть і це спричинить новий всесвітній потоп, а люди вимруть від спеки»; «ЄС. До світової катастрофи залишилося 10 років і 1,2 градуса»; «США. Великий потоп почнеться з Аляски»; «США. Через 50 років Франція і Німеччина стануть

тропічними країнами»; «США. Антарктида бурхливо реагує на потепління клімату»; «Непал. Гімалайські льодовики тануть»; «США. Стародавні гімалайські озера були причиною гігантських потопів»; «США. Материкові льоди Арктики повністю розтануть?»; «Росія. У найближчі 20 років зчезнуть білі ведмеді і тюлені»; «Велика Британія. Глобальне потепління наближається до фатальної межі»; «Велика Британія. Найточніша кліматична модель передбачає потепління і нові цунами»; «Нью-Йорк. Ескімоси подають в суд на США»; «Австралія. Моря і океани залишаються без коралів»; «Буенос-Айрес. Від екологічної катастрофи врятує...Ноїв ковчег?»; «Гренландія. І льодовики тануть ударними темпами...».

Реальність глобального потепління підтверджується сучасними моделями клімату, розробленими в Інституті обчислювальної математики РАН (ІОМ), що має неабиякий досвід у цій галузі. Так, тут створена модель загальної циркуляції атмосфери, яка постійно вдосконалюється упродовж кількох десятиліть. У 2001 році було введено в дію суперкомп'ютер МВС-1000М. Проте і він не забезпечував необхідної швидкості

обчислень, тому до нього підключили 20-процесорний блок Науково-дослідного обчислювального центру МДУ ім. М.В. Ломоносова та ще один кластер із восьми вузлів і двох процесорів Intel Itanium 2. Лише за такої сумарної потужності комп'ютерного центру вдалося отримати достатньо ймовірний прогноз зміни клімату планети у XXI і XXII століттях. У цій складній роботі використані як алгоритми ІОМ РАН, так і алгоритми інших російських та зарубіжних інститутів, у тому числі всесвітньо відомої японської компанії «Ай-Теко». Найближчим часом тут планується збільшення потужності суперкомп'ютера за рахунок додаткових восьми вузлів, загальна кількість процесорів досягне 32, що дасть змогу істотно підвищити прогностичну здатність моделей.

Запропонована росіянами ІОМ РАН модель клімату Землі охоплює всі основні кліматоутворюючі фактори. Реалізація моделі здійснюється шляхом розв'язку тривимірних рівнянь гідротермодинаміки атмосфери й океану. Модельна мережа на кожному кроці враховує параметри швидкості вітру, температури, вологості, атмосферного тиску та радіаційні процеси (джерела тепла, пов'язані з поглинанням, відбиттям і розсіюванням сонячного коротко- і довгохвильового випромінювання атмосферою та поверхнею Землі). Передусім оцінюються вплив на клімат вмісту в атмосфері вуглекислого газу, водяної пари, метану, оксидів азоту, озону, аерозолів; процеси конвекції, конденсації вологи в осаді, їх випаровування при випаданні, хмарність, турбулентність у поверхневому шарі атмосфери та гравітаційні хвилі. На поверхні суші також розраховують безліч параметрів, серед яких один із найважливіших — температура і вологість ґрунту на різних його горизонтах до глибини 10 м. При цьому враховують такі фактори: випадання чи танення снігу, утворення мерзлоти, випаровуван-

ня вологи різними типами ґрунтів і рослинністю, всмоктування вологи кореневою системою, а також закономірності формування річкового стоку.

Стосовно «моделі океану», то, як і для атмосфери, розв'язуються тривимірні рівняння гідротермодинаміки, тобто в кожній точці в часі обчислюються температура, солоність, компоненти швидкості течій. У цій моделі враховуються вплив турбулентності при формуванні верхнього шару водної товщі, характер течій, тепло-і вологообмін на межі атмосфера — океан. Береться до уваги також можливість утворення і танення льоду.

Слід підкреслити, що у модель довгострокового прогнозу клімату закладаються різні варіанти демографічного, соціального, економічного і технологічного розвитку цивілізації. Модель ІОМ РАН визнана міжнародною програмою СМІР (Coupled Model Intercomparison Project), над якою працюють США, Німеччина, Франція, Австралія, Велика Британія, Канада, Китай і Росія.

Чи може сьогодні взяти реальну участь у цьому міжнародному співробітництві Україна? На жаль, поки що ні. Насамперед тому, що у нас ще не створено кліматологічного обчислювального центру адекватної потужності і відсутнє належне фінансування національних досліджень у згаданій сфері. Спиняємося на цьому питанні лише тому, що деякі вітчизняні науковці нерідко впадають в амбіції і вихваляють власні прогнози клімату, насправді ж перебуваючи на узбіччі важливих для людства і нашої держави досліджень. Однак оптимізму додає та обставина, що у нас для цього є унікальні можливості: в складі НАН України функціонує славнозвісний Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова, на базі якого можна організувати сучасний Міжвідомчий науково-дослідний кліматологічний центр. Цей же центр міг би допомогти у розв'язанні й інших

наукових і народногосподарських проблем загальнодержавного значення. Що думають з цього приводу наш новий уряд і керівництво НАН України, наразі не відомо.

Як засвідчують численні спостереження і результати моделювання клімату, факт теплового забруднення нашої планети, внаслідок розсіювання теплоти і парникового ефекту, навряд чи може викликати сумніви. Інша річ, що нам бракує конкретних знань про те, якою мірою на динаміку глобального клімату впливають Всесвіт і сама земна куля з її мантією і ядром. Адже відомо, що температура на межі ядро — мантія становить близько 4000 К. Завдяки космічному випромінюванню і внутрішньоземним явищам тепловий баланс Землі описується так: 15% тепла утворюється внаслідок радіаційних процесів у корі, 50% — у мантії, 25% — первинним нагріванням. Із Землі в атмосферу йде потік тепла потужністю 0,1Вт/м². Планета охолоджується зі швидкістю 80 К/млрд років. Згідно з В.П. Трубіциним [14] довгоживучі континенти (близько 3 млрд років) відіграють роль теплових клапанів.

Оскільки у глобальне потепління значним є внесок таких традиційних забруднювачів атмосфери, як ТЕС, прихильники атомної енергетики переконані, що найбільш вдалою альтернативою їм можуть бути АЕС. Оговтавшись від постчорнобильського синдрому, адепти АЕС перейшли у рішучий наступ. В більшості країн світу їм вдалося зняти мораторій на заборону будівництва нових енергоблоків. Нещодавно у США прийнято рішення про спорудження 104-ї у цій державі АЕС. Традиційно міцні позиції зберігають атомники у Франції, де будуються ще два атомних реактори високої потужності. Натхненна прикладом цих країн Японія також розгорнула спорудження двох АЕС та модернізацію старих станцій. Нова хвиля будівництва АЕС накрила Росію, Фінляндію, Тайвань і навіть Китай, де ще донедавна

частка виробництва цього виду енергії була мізерною і, власне, нічого істотного в енергетиці не вирішувала, крім задоволення військових потреб.

Атомники висунули і всіляко обґрунтують міф про те, що розширення мережі та нарощування потужностей АЕС у світі розв'яже проблему глобального потепління, оскільки ці станції практично не викидають в атмосферу двоокису вуглецю. Ця теза була проголошена на сесії Всесвітньої ядерної асоціації 13 травня 2003 року у Санкт-Петербурзі, де зібралися представники найбільших атомних компаній світу. Всіляко мусуючи тему глобального потепління, адепти атомної енергетики провадять нині великі пропагандистські та рекламні акції. Зрозуміло, що на недоліках і вузьких місцях цього виду енерговиробництва вони зазвичай не зосереджуються. Більше того, заради досягнення своєї мети певні кола МАГАТЕ нерідко йдуть на пряме перекручування фактів, а часом — і на обман. Щоправда, серед проєктантів, науковців і технологів атомної галузі є й такі, котрі, перебуваючи у полоні професійного егоцентризму, щиро віряють у непогіршимість «мирного атома».

Згадана активізація атомників спровокувала виступи громадських організацій «зелених», багатьох учених-екологів і політичних діячів, які висувають свої контраргументи. Основні з них такі.

- ♣ Усім відомим сьогодні типам ядерних реакторів притаманні недоліки, що не гарантують повної їх безпечності. Аварії можуть трапитися з вини конструкторів, внаслідок помилок операторів, терористичного акту, військових дій чи природних катастроф.
- ♣ Будівництво АЕС та її безпечне функціонування обходяться набагато дорожче, ніж спорудження й експлуатація станцій аналогічної потужності, які працюють на природному газі.

- « АЕС не можуть слугувати альтернативою у розв'язанні проблеми глобального потепління, оскільки, за даними Європейської комісії, лише для стабілізації рівня емісії CO₂ у Європі потрібно збудувати 85 нових реакторів, що «вилілося» б у кілька трильйонів доларів.
- « Крім експлуатаційних викидів радіоактивних речовин (РАР), нові реактори додатково вироблятимуть сотні тисяч тонн відпрацьованого ядерного палива (ВЯП), з яким потрібно поводитися так само обережно, як і зі свіжим паливом.
- « Досі немає екологічно безпечних технологій переробки ВЯП. Репроцесинг, що застосовується нині у більшості країн світу, призводить до безпрецедентного забруднення довкілля радіонуклідами, у тому числі довгоіснуючими. На захоронення ВЯП потрібно дедалі більше коштів і площ. Ці проблеми особливо гостро постали у Великій Британії, Франції, США, Росії та інших країнах. У нашій державі, наприклад, чимало радіаційних сховищ уже заповнено вщерть і с'як-так законсервовано, та й місткості більшості інших уже прийняли 50–90 % відходів. Причому деякі зі сховищ перебувають в аварійному стані, є джерелом забруднення радіонуклідами повітря і ґрунтових вод.
- « Функціонування АЕС пов'язане з утворенням великої кількості водяної пари, яка є ще сильнішим чинником парникового ефекту, ніж CO₂.

Значну небезпеку для здоров'я населення, сільськогосподарських тварин і природної біоти становлять радіаційно забруднені ґрунти, рослинність, матеріали, механізми, деревина тощо, які наспіх складовано у 300 тимчасових пунктах зберігання РАВ у тридцятикілометровій зоні відчуження ЧАЕС. Величезна маса радіаційного непотребу залишається незахороненою і досі, а, отже, небезпечною для всього живого. На цю безрадісну картину слід нанести бодай кілька

не менш чорних мазків, пов'язаних з діяльністю вітчизняної уранодобувної й уранопереробної промисловості на території Дніпропетровської, Кіровоградської і Миколаївської областей. Не випадково ці області зажили сумнозвісної першості щодо поширення злоякісних новоутворень.

- « Запаси головного ядерного палива — урану-235 — на земній кулі досить обмежені. Процес його видобування і збагачення надзвичайно дорогий, енергоємний та екологічно шкідливий. Чинні технології, як відомо, включають подрібнення твердих урановмісних порід, їх обробку міцними мінеральними кислотами, нейтралізацію лугами і центрифугування. Внаслідок цього маємо «місячний» ландшафт, який доповнюють купи твердих та озера рідких відходів, що фільтруються і забруднюють ґрунтові води. Подрібнені породи підхоплюються вітром і переносяться на чималі відстані, погіршуючи санітарно-гігієнічний стан довкілля.
- « Не менш гострою є і проблема виведення з експлуатації реакторів АЕС, які відпрацювали свій ресурс. Стосовно України, то це головний біль уже нинішньої влади, адже з 2007-го по 2025 роки нам доведеться вивести з робочого режиму і захоронити 16 реакторів. А де взяти необхідні кошти, адже це астрономічні суми? До того ж демонтаж реакторів і знешкодження ВЯП, матеріалів та конструкцій — процес надзвичайно небезпечний для здоров'я персоналу, населення та навколишніх екосистем, де і японські роботи не вельми допоможуть. Фахівці пропонують два основні варіанти розв'язання означеної проблеми:

1) капітальний ремонт і реконструкція АЕС «на ходу» або після тимчасової зупинки, щоби подовжити термін експлуатації реакторів хоча б на 10–20 років;

2) зупинка і «консервування» АЕС на 50 років, так би мовити, до кращих часів, коли

з'являться належні технічні можливості і кошти.

А чи з'являться?

Перший варіант пов'язаний з ризиками, зумовленими «втомою» конструкцій і комунікацій, яка прискорюється дією на них жорстких радіаційних випромінювань. Реалізація другого варіанту ускладнюється насамперед економічними й еколого-гігієнічними причинами. Прикрим наслідком другого варіанту є й те, що весь період консервації АЕС споживатимуть електроенергію від інших джерел та потребуватимуть значних затрат на поточні ремонти. На жаль, і в законсервованому вигляді АЕС залишаються об'єктами підвищеної небезпеки, адже в їх «черевах» тлітимуть сотні тонн ВЯП. І все ж, раніше чи пізніше, доведеться демонтувати реактори та допоміжні споруди АЕС і десь цю велетенську масу, що опромінює все довкола, безпечно захоронити. А це завдання надзвичайної гостроти і складності, взяти хоча б зруйнований 4-й реактор ЧАЕС з двомастами тонн ВЯП та дірявим саркофагом над ним. Ми ж чомусь йдемо не тим шляхом, хочемо перетворити цей об'єкт на «російську матрешку» із джином усередині, споруджуючи над старим новий саркофаг. А через певний час — і третій? Але ж чи витримає проммайданчик, що вже і так просів і підтоплюється, додаткове навантаження у сотні тисяч тонн?

Свого часу ми [4] запропонували таке рішення: над зруйнованим блоком ЧАЕС напнути міцний дешевий купол, усередину якого для гальмування корозійних процесів закачується інертний газ — азот. Передбачені в куполі спеціальні шлюзи забезпечували б можливість проведення будь-яких технічних операцій з демонтажу конструкцій та комунікацій реактора. На жаль, у Держкоматомі України це рішення підтримки не знайшло.

На демонтаж Чорнобильської АЕС та перетворення її майданчика на «зелену га-

лявину» необхідно затратити величезні інтелектуальні, матеріальні і трудові ресурси. Це тяжка і небезпечна багаторічна робота десятків тисяч інженерів та робітників, яка жодних прибутків державі не принесе. Ось вам яскравий приклад сизифової праці.

У контексті розглянутих проблем стає очевидним: якщо всі прями і непрямі затрати, економічні та соціально-екологічні збитки нашої держави, пов'язані з атомною енергетикою, накласти на собівартість її електроенергії, то лопне, як мильна бульбашка, міф про найдешевшу у світі атомну енергію. Як зрозуміло і те, що, за нормами проектування, АЕС й атомні виробництва відносять до найнебезпечніших об'єктів (1 клас, підклас А). Гадаємо, були підстави для тези, оприлюдненої нами раніше [1, 12]: «З-поміж усіх відомих джерел енергії АЕС відрізняються найтяжчими наслідками для довкілля і здоров'я населення планети».

Гори спеціальної літератури засвідчують: будь-яке підвищення радіаційного фону призводить до збільшення захворюваності населення. При цьому зазвичай вважають [5], що найнебезпечнішим наслідком радіаційного опромінення є його мутагенний вплив на геном людини, який полягає у збільшенні генотоксичних ушкоджень, з одного боку, та інтенсифікації вільнорадикальних процесів — з другого. Як переконливо показано С.В. Комісаренком та співавторами [8], головною мішенню сукупної дії згаданих механізмів є імунна система організму. Її ушкодження, на наш погляд, «розв'язує руки» патогенним й умовно патогенним агентам і паразитам [2].

Техногенний вплив АЕС за штатних умов експлуатації простежується в радіусі 30—50 км. У цих зонах формуються специфічні природно-техногенні системи з притаманними їм екологічними змінами, де, крім радіаційного, електромагнітного і теплового забруднення довкілля, спостерігаються явища підтоплення проммайданчиків, акти-

візації мікросейсмічності, вилуговування ґрунтів, зміни гідрохімічного і гідробіологічного режимів у ставках-охолоджувачах та прилеглих водоймах загального користування [9].

Отже, для зменшення теплового забруднення біосфери слід налагодити насамперед систему його регламентації — як у регіональному, так і в національному масштабах.

Не варто також забувати, що національні енергетичні системи — АЕС, нафто-, газосховища і їхні трубопроводи — є потенційно вразливими до можливих екстремальних природних впливів (удар блискавки, урагани, землетруси), а також до каскадних відмов комутаційних апаратів і пристроїв захисту. Зумовлені згаданими чинниками техногенні аварії можуть спричинити загрозу населенню та значні економічні збитки. У випадку ж знеструмлення АЕС виникає пряма загроза розплавлення активної зони реакторів та викиду у довкілля радіоактивних матеріалів.

Нерідко фахівці залишають поза увагою той факт, що АЕС, яких у світі налічується понад 450, є потужними джерелами генерування збуджених електронних станів (ЗЕС) атомів. Останні створюють умови для міграції їх неконтрольованої релаксації, що супроводжується енерговиділенням (нагріванням, плавленням, випаровуванням, втратою міцності матеріалів і загорянням). А це — передумова виникнення аварій. Якщо ж до техногенних ЗЕС додаються ще й природні, які рухаються з глибин Землі до її поверхні і далі — в атмосферу, то ймовірність аварій на АЕС видається не такою вже й примарною. З метою захисту об'єктів народногосподарського й оборонного призначення від природних і техногенних ЗЕС О.І. Слензак [12] пропонує створювати системи їх безпечного скиду в атмосферу.

Як бачимо, проблем з атомною енергетикою чимало і вони досить складні. Серед

них, зокрема, і те, що атомна енергетика постійно відволікає інтелектуальні, трудові та матеріальні ресурси від розробки і втілення екологічно безпечніших відновлюваних джерел енергії. Більше того, як засвідчують деякі повідомлення Грінпісу, МАГАТЕ і власники фірм, що проектують і будують АЕС, як і їхні симпатички в урядах деяких країн, усіляко лобіюють інтереси свого дітища, нерідко вдаючись до заборонених прийомів стосовно конкуруючих організацій.

Безмежна віра у спосіб генерування атомної енергії штовхає її adeptів на нові й нові «подвиги». Складається враження, що останні не сумніваються у безпечності АЕС, тому вдаються лише до паліативних технічних рішень щодо вдосконалення системи безпеки, час від часу підфарбовуючи фасади своїх «замків». Так, у зв'язку з обмеженістю запасів урану-235 атомники освоїли уран-238, який для цього доводиться опромінювати швидкими нейтронами, щоб перетворити на ефективне паливо — плутоній-239. Як кажуть, убили відразу двох зайців. Плутоній можна застосовувати і як паливо, і як начинку для атомних бомб. Чим не манна небесна для сучасних геростратів?! Щоправда, це потребує спорудження спеціальних реакторів-розмножувачів та додаткових витрат на знешкодження відходів.

Але ж атомники не збираються спинятися на досягнутому. Інженерна думка давно й активно працює над створенням «реакторів третього тисячоліття», зокрема реакторів великої потужності: європейський водо-водяний, високотемпературний гелієвий та високотемпературний рідинно-сольовий. Паралельно вдосконалюються атомні реактори на швидких нейтронах, освоюються нові види ядерного палива, наприклад торій-232, тощо.

Та найбільш жаданою, прямо-таки «ідеєю-фікс» прихильників атомної енергетики, яка нагадує своєю затятістю пошуки

середньовічними алхіміками «філософського каменю», є мрія про «вічне» джерело невичерпної дешевої та екологічно чистої енергії. Дехто вважає, що досягти цього можна шляхом керованого термоядерного синтезу (КТС), побудови термоядерних реакторів (ТЯР) і термоядерних електростанцій (ТЯЕС). Учені-фізики настільки повірили у реальність спорудження ТЯЕС, що ще років двадцять тому проголосили: такі станції будуть впроваджені до кінця 2000-го. Однак попри колосальні інтелектуальні та матеріальні (понад 15 млрд доларів) затрати США, Японії, ЄСР і деяких держав Західної Європи, жар-птицю досі не вдалося впіймати. Здавалося б, причина банальна: нерозв'язаною є проблема утримання плазми, розігрітої до «сонячної» температури. Подумаєш, якихось кілька сотень мільйонів градусів! Для цього потрібно лишень створити тороїдальний реактор, у якому б згадана плазма стала настільки слухняною, що уміщувалася б у «мішку», «зшитому» з магнітного поля високої напруженості. Сьогодні, здається, і самі проєктанти зрозуміли примарність належного технічного рішення, бо придумали уїдливі жарт: «термояд — енергія майбутнього і такою залишиться назавжди»... Одна справа — ідея на папері, а інша — реалізація у металі.

І хоч як це дивно, але згадані невдачі фізиків втішають екологів, котрі роблять усе, щоб на бузувірську ідею «термояду» було накладено табу. Бо вона таки сатанинська! І це не якісь безпідставні вибрики «зелених», яких часто таврують атомники за нерозуміння засад науково-технічного прогресу. Аргументи ж «зелених» такі: *по-перше*, термоядерна енергетика небезпечніша за традиційну атомну, оскільки в реакціях між дейтерієм і тритієм утворюються альфа-частинки і нейтрони високої енергії (14 МеВ), які не тільки самі по собі спроможні загрожувати всьому живому, а й на-

водять радіоактивність на довколишні матеріали, предмети і конструкції. *По-друге*, ймовірність аварій на ТЯЕС не менша, ніж на АЕС. Однак, якщо, не дай Боже, така аварія станеться, то, на відміну від Чорнобильської катастрофи, ліквідувати її наслідки вже буде нікому. *По-третє*, концентрування такої кількості енергії на обмеженій території, значна частина якої добряче підігріватиме довкілля, також екологічно небезпечно і провокуватиме розвиток природних аномалій.

Дійшовши цих невеселих узагальнень, маємо заспокоїтися. Гадаємо, певною мірою відповідь на поставлені питання криється у нинішній структурі світового добування енергії, де частка відновлюваних екологічно чистих джерел (сонячна, вітрова, гео-, гідроенергія, енергія морських хвиль, припливів та відпливів, фітомаси) все ще надто мала. Тим часом на прикладі України бачимо, що доступні запаси цих видів енергії у нас становлять не менше 20–30% від сучасного обсягу енерговиробництва. Якщо ж нагадати, що ми витрачаємо на одиницю валового продукту принаймні вдвічі більше енергії, ніж розвинені країни світу, то за рахунок екологічно чистих відновлюваних джерел енергії можна забезпечити близько половини енергетичних потреб України.

Маємо зробити усе від нас залежне, щоб питома вага екологічно безпечних джерел енергії постійно зростала, а «брудних» (АЕС, ТЕС) — поступово зменшувалася. Це дасть змогу використовувати наявне органічне паливо ефективніше й ощадливіше. Поставленої мети можна досягти завдяки переходу на новітні технології, зокрема на «паливні елементи», що вирізняються мінімальною емісією парникових газів і втратою тепла. Коефіцієнт корисної дії таких технологій за рахунок використання побічного тепла досягає 90%. Цій же благородній справі має прислужитися і багатий світовий досвід у галузі енергозбере-

ження. Слід особливо наголосити: задекларовані нами підходи допоможуть досягти ще однієї важливої мети: роззосередження енерговиробництва у просторі та часі.

Нині Україна імпортує 20 млн т вугілля, 90 млрд м³ природного газу, 50 млн т нафти і 300 т уранового палива, за що справно сплачує не менше 10 млрд американських доларів на рік. Після ознайомлення з чинною енергетичною стратегією держави дивуєшся: невже ці кошти зайві для нашого бюджету? Парадоксальність ситуації полягає ще й у тому, що Україна володіє солідними запасами газового конденсату, нафти, «зайвої» фітомаси та відходів цукрового виробництва — меляси, яку можна перетворити на дешевий етиловий спирт (в Україні є необхідні для цього потужності). Чому в Бразилії та інших країнах до бензину можна додавати 20–30% етилового спирту, а у нас ні? Цілком очевидно, що за умови освоєння цих потенційних джерел енергії у перспективі зможемо обійтися без екологічно «брудних» АЕС і ТЕС, що працюють на вугіллі та мазуті.

Гадаємо, міжнародна спільнота має активніше імплементувати засади сталого розвитку, проголошені у Ріо-де-Жанейро, Йоганесбурзі та передбачені Кіотським протоколом про скорочення обсягів емісії парникових газів. У визначені протоколом терміни це повинні робити як країни, котрі підписали документ, так і ті, котрі поки що до нього не приєдналися. Вважаємо, що науково-технічна база для реалізації положень протоколу в основному вже створена. Насамперед ідеться про екологічно ощадливі технології промисловості й енергетики, що не дають значної емісії вуглекислоти, а також способи її зв'язування або закачування у шахтні виробки та природні підземні пустоти.

В арсеналі методів боротьби з глобальним потеплінням чільне місце належить відновленню природних екосистем: лісових

насаджень, боліт, луків, морських і прісноводних екосистем, скороченню орних площ, поліпшенню біологічних агротехнологій та селекції високоврожайних сортів сільськогосподарських культур, які вирізняються значними коефіцієнтами утилізації сонячної енергії та вуглекислоти. Над цими проблемами сьогодні напружено працює наукова думка. Вважаємо, що лише за умови реалізації, під контролем ООН і широких кіл громадськості, нових глобальної, регіональних і національних стратегій і програм енерговиробництва, енергоспоживання та природоохоронної роботи можливі стабілізація глобального потепління, підтримання гомеостазу нашої ойкумени. А твердження атомників щодо незамінності АЕС для розв'язання проблем енергетики і глобального потепління — «від лукавого».

На наше переконання, яке, до речі, збігається з позицією багатьох учених-екологів і громадських організацій «зелених», атомна енергетика не може допомогти у подоланні глобального потепління, оскільки вона спричинює утворення великої кількості водяної пари, що належить до найсильніших чинників парникового ефекту. Крім того, функціонування АЕС породжує низку інших, ще гостріших екологічних проблем, про які йшлося вище.

Хочеться запевнити наших можливих опонентів: ми не проти науково-технічного прогресу, самі залюбки користуємося його благами. Проте вважаємо надзвичайно актуальним контроль громадськості над впровадженням екологічно небезпечних інновацій, якими б привабливими з економічного погляду вони не були. На щастя, багато людей у світі вже усвідомили потенційну небезпеку, приховану в діяльності деяких вульгарних технократів та їх лобістів у високих ешелонах влади. Тож недарма кілька років тому було прийнято Орхуську конвенцію про обов'язкову участь громадськості в оцінці військових і господарських проектів

щодо можливих екологічних наслідків їх реалізації. І, що вселяє надію, міжнародна спільнота вже набула певного досвіду в цій вельми важливій справі.

1. *Багнюк В.М.* Екологічні проблеми атомної енергетики // Надзвич. ситуація. — 2000. — № 11. — С. 45–47.
2. *Багнюк В.М.* Опортуністичні інфекції в патогенезі хвороб людей, постраждалих внаслідок Чорнобильської катастрофи // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. — 2004. — № 1. — С. 62–67.
3. *Браславский А.П., Кумарина М.Н., Смирнова М.Е.* Тепловое влияние энергетики на водную среду. — Л.: Гидрометеиздат, 1989.
4. *Гетманець В.Ф., Багнюк В.М.* Надійна «шапка» для саркофагу // Уряд. кур'єр. — 1990. — № 133.
5. *Гродзинський Д.М.* Ризики від радіаційного зараження довкілля // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. — 2000. — № 15. — С. 27–39.
6. *Запольський А.К., Салюк А.І.* Основи екології. — К.: Вища школа, 2003. — 358 с.
7. *Козин Л.Ф., Волков С.В.* Водородная энергетика и экология. — К.: Наук. думка, 2002. — 335 с.
8. Содержание, ультраструктура и функция основных популяций лимфоцитов крови человека / *Комиссаренко С.В., Зак К.П., Хоменко Б.Н., Лукашов Д.И., Карлова Н.П., Черняк С.И.* Радиация и иммунитет человека. — К.: Наук. думка, 1994. — С. 17–38.
9. *Лисиченко Г., Забулонов Ю.* Эколого-экономические аспекты развития атомной энергетики в Украине / Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. — К.: Знання, 1996. — Ч.1. — С. 33–34.
10. *Монин А.С., Берестов А.А.* Новое о климате // Вестн. РАН. — 2005. — Т. 75, № 2. — С. 126–138.
11. *Поліщук В.В., Шена В.В.* Історична біографія Дунаю. — К.: Бруклін-Київ ЛТД, 1998. — 512 с.

12. *Ситник К.М., Багнюк В.М.* 10 років від конференції ООН в Ріо-де-Жанейро: досягнення і прорахунки // Укр. бот. журн. — 2002. — Т. 59, вип. 4. — С. 363–379.
13. *Слензак О.И.* Безопасность работы АЭС и высокоэнергетическая электроника / Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. — К.: Знання, 1996. — Ч. 1. — С. 139–140.
14. *Трубицын В.П.* Тектоника плавающих континентов // Вестн. РАН. — 2005. — Т.75, № 1. — С. 11–21.

К. Ситник, В. Багнюк

ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ: ВНЕСОК АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Резюме

Всебічно аналізуються техногенні чинники теплового забруднення біосфери, екологічні наслідки функціонування ТЕС та АЕС. Наголошується, що атомні електростанції, будучи джерелом водяної пари, не лише не зменшують, а й посилюють парниковий ефект. Автори підкреслюють, що розв'язанню проблеми глобального потепління сприятиме ширше використання відновлюваних енергоносіїв і впровадження енергоощадливих технологій.

К. Sytnyk, V. Bagnyuk

GLOBAL WARMING: NUCLEAR POWER CONTRIBUTION

Summary

The comprehensive analysis of man-caused issues of biosphere thermal pollution and ecological consequences of thermal power stations and nuclear power stations is presented. It's highlighted that nuclear power stations as water vapour sources do not reduce but increase the greenhouse effect. The authors underline that a wide use of renewable energy resources and implementation of energy efficient technologies will contribute to global warming problem solution.