



БАСОК
Борис Іванович —
член-кореспондент НАН
України, завідувач відділу
теплофізичних основ
енергоощадних технологій
Інституту технічної теплофізики
НАН України

ЕНЕРГЕТИКА І ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Доповідь на науковій сесії Загальних зборів НАН України 17 лютого 2022 року

У доповіді розглянуто історичні та прогностичні аспекти глобального потепління, структуру і динаміку викидів парникових і шкідливих газів в Україні. Проаналізовано основні положення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року, а також Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок до 2033 року. Наведено дані щодо динаміки первинного і кінцевого енергетичного використання, обсягів світових інвестицій у розвиток енергоефективності, а також відомості про енергоефективність первинних енергоресурсів і ступінь карбономісткості відновлюваних і альтернативних енергоджерел.

За період існування Землі різні її регіони неодноразово проходили так звані точки біфуркації, в яких змінювалися тренди розвитку людства і виникали проблеми, що загрожували життю на планеті. Наприкінці ХХ — на початку ХХІ ст. увагу наукової, політичної та громадянської спільноти прикуто до кліматичних змін, проте останнім часом глобальною проблемою для сучасного світу стала пандемія COVID-19. Втім виклики, породжені глобальним потеплінням, нікуди не зникли і надалі становлять загрозу життєдіяльності людської цивілізації та є причиною падіння економіки на міжнародному та регіональному рівнях.

На думку Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК), інструментально зафіксований починаючи з 70-х років ХХ ст. тренд на підвищення глобальної температури зумовлений антропогенним впливом — підвищенням концентрації в атмосфері парникових газів (CO_2 , CH_4 , N_2O та ін.), основним продуцентом яких є паливно-енергетичний комплекс (видобуток, транспортування та використання вуглеводневого палива).

Станом на лютий 2021 р. концентрація CO_2 в атмосфері становила 417 ppm, CH_4 — близько 1910 ppm і продовжує зростати незмінними темпами, незважаючи на спричинений пандемією COVID-19 4 %-й спад світового енергоспоживання і відповід-

не зменшення викидів CO_2 в 2020 р. на 5,8 %. Сумарні викиди парникових газів у 2019 р. досягли 59,1 Гт у CO_2 -еквіваленті, з яких на CO_2 припадало 64 %. На енергетику припадає 41 % викидів парникових газів, на промисловість — 20 %, на транспорт (оснащений енергетичними установками) — 14 %. У 2019 р. викиди CO_2 , пов'язані з використанням викопного палива, сягнули рекордного рівня — 37,5 Гт- CO_2 -екв. (рис. 1) за річного світового постачання первинної енергії $171 \cdot 10^{15}$ кВт-год. Найбільшими світовими емітентами CO_2 є країни, наведені у вставці рис. 1, а серед континентів лідирує Азія, країни якої продукують понад половину світових викидів.

У світі активно культивується і фактично панує думка, що такий стан пов'язаний з антропогенною діяльністю людства, яка активізувалася починаючи з 1850—1900 рр. і призвела до зростання глобальної температури планети на $1,28$ °C, що зумовило потепління клімату і, як безальтернативно стверджується, спричинило різні стихійні природні лиха — посухи, шторми, повені тощо. Наразі середня глобальна температура Землі становить приблизно $15,2$ °C, що лише на $1,5$ — 2 °C менше за температурні максимуми циклічних коливань (епохи потепління-похолодання) теплового стану нашої планети впродовж останнього мільйона років її історії. Осереднений період таких змін становить близько 110 тис. років.

Актуальність та архіважливність проблеми підтверджується тим фактом, що за результатами діяльності в цій галузі присуджено дві Нобелівські премії. Тому, безсумнівно, фізика і геополітика глобального потепління стали однією з найактуальніших трансдисциплінарних проблем у реаліях сучасного світу.

Вплив енергетики на потепління визначальний, а з урахуванням сучасних тенденцій використання енергетики для майже силового впливу на міждержавні відносини, розв'язання цих проблем належить до головних завдань національної безпеки різних країн.

Наразі є два основні підходи до причин глобального потепління, сфокусовані, відповідно, на антропогенних (техногенна життєдіяль-

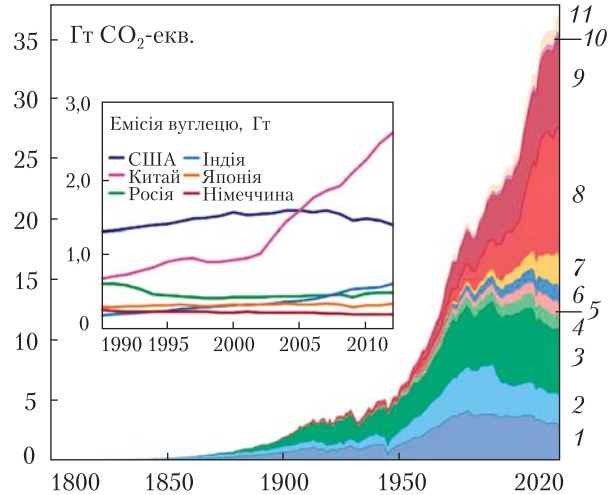


Рис. 1. Щорічні викиди CO_2 від викопного палива по регіонах світу, 1 — ЄС-27; 2 — інші країни Європи; 3 — США; 4 — інші країни Північної Америки; 5 — Південна Америка; 6 — Африка; 7 — Індія; 8 — Китай; 9 — інші країни Азії; 10 — Океанія; 11 — міжнародний транспорт. Вставка — динаміка емісій вуглецю у найбільших економіках світу

ність людства) та природних факторах впливу на клімат. Фундатором і політичним світовим лідером антропогенної концепції потепління є ООН і МГЕЗК; науковці й експерти здебільшого підтримують природну концепцію. Є прихильники поєднання обох концепцій, які вважають, що зазначені чинники діють одночасно і превалюють природні, а до антропогенної концепції бажано додати: 1) політику пом'якшення негативного впливу потепління; 2) політику адаптації до згубного (бо там є і позитивні аспекти) потепління клімату; 3) політику вираженої та обґрунтованої динаміки світової економіки та національних економік країн, максимально зменшивши загрози та ризики можливого прояву світових фінансових криз внаслідок багатовитратної боротьби з глобальним потеплінням.

Є й інші підходи. Їхні прихильники вважають, що глобальне потепління — це, швидше за все, наслідок руйнування природних екосистем, тобто порушення механізму регуляції і хімічного складу атмосфери, природних та океанічних вод, ґрунтів. Адже Земля являє собою

систему, в якій саме життя допомагає контролювати її стан. Біологічні процеси тісніше взаємодіють з фізичними та хімічними процесами у формуванні властивостей навколишнього середовища, ніж припускали раніше.

У 1997 р. за ініціативою ООН було прийнято Кіотський протокол (до Рамкової конвенції про зміну клімату, 1992 р.), в 2015 р. — Паризьку угоду, а в 2021 р. — Кліматичний пакт конференції COP26 в м. Глазго про політику протидії глобальному потеплінню клімату. Міжурядова група експертів зі змін клімату при ООН розробила 5 сценаріїв розвитку світу до 2100 р. з різними прогнозами зростання глобальної температури від 1,5 °С (дуже оптимістичний) до 8 °С (дуже консервативний).

Останнім часом крім МГЕЗК до розроблення сценаріїв низьковуглецевого і вуглецево-нейтрального розвитку світової енергетики долучилося авторитетне Міжнародне енергетичне агентство (МЕА). Зокрема, вони запропонували сценарій сталого розвитку (SDS, 9 Гт у CO₂-екв. 2050 р.) та новітній сценарій «Чистий нуль викидів до 2050 року» (NZE2050, 1–2 Гт CO₂-екв. в 2050 р.).

У 2012 р. Європа розпочала програму ГРОКО (глобальна рамкова основа кліматичного обслуговування, у тому числі в енергетиці) і успішно її виконує, підтвердженням чого є стійке зменшення в ЄС викидів CO₂. Цьому також сприяли прийняття Європейської енергетичної стратегії до 2020 р. та успішна реалізація в 2010–2020 рр. європейської програми «20-20-20 до 2020», яка зобов'язувала країни ЄС до підвищення енергоефективності на 20 %, скорочення викидів парникових газів на 20 % та збільшення використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на 20 % до 2020 р. Наразі в ЄС започатковано комплексну програму «Європейський зелений курс», що містить механізми коригування вуглецьмісткості товарів на митному кордоні.

У техногенному періоді людства було вибрано діапазон 1950–2019 рр. (70 років, тобто майже 3 покоління) з найбільшим і практично лінійним стійким зростанням використання первинних енергоресурсів і відповідними

сталими демографічними світовими показниками кількості населення, адже енергетика в кінцевому підсумку має благородну місію підвищення комфорту життєдіяльності людини. Зазначений період характеризується мирним післявоєнним життям; різким зростанням наукових і промислових інновацій та належним менеджментом. За даними супутників, у цей період інсоляція, як основне джерело енергії для Землі, була фактично постійною (в межах незмінної дії типових циклів Швабе). За оцінками питомого (на одного мешканця Землі) первинного споживання енергоресурсів для періоду досягнення кількості населення 4–6 млрд (1973–2002 рр.) річне споживання становило 18,3 тис. кВт-год, а 6,5–8 млрд (2005 р. — сьогодення) — 20,3 тис. кВт-год. Для України цей показник становить 24 тис. кВт-год.

За цей 70-літній період людство використало 5,9 ЕкВт-год теплоти (екса — 10¹⁸) первинної енергії теплового походження (всі основні види первинного енергоресурсу за винятком гідроенергії, енергії вітру та інсоляції). З цього обсягу в кінцевому споживанні (промисловість, транспорт, будівлі, послуги та ін.) при усередненому ККД = 35% перетворення теплоти на механічну роботу 4,2 ЕкВт-год теплоти було розсіяно в довкілля через атмосферу, а далі на сушу і в світовий океан.

На основі балансу розсіяної теплової енергії, акумульованої в атмосфері, на суші і в світовому океані, було показано, що в зазначений період повітря нагрілося на 1,05 °С, що чітко збігається з незалежними експериментальними даними NASA щодо зростання температури. Це означає, що людство за 70 років за рахунок теплових скидів та викидів теплоти нагріло Землю на 1,05 °С, як у велетенській печі постійної експлуатації. І це теплове розсіювання в довкіллі є рукотворним і фактично не залежить від концентрації CO₂ в атмосфері. Навіть якщо в перспективі можна буде практично використовувати термоядерну енергетику (а такі шанси є, можливо навіть у цьому столітті), то через її теплове походження все одно відбуватиметься нагрівання планети. Тому фізичні причини антропогенного потепління

планети — це інтенсивне використання тепло-ти як первинної енергії та властиві наявним технологіям теплові дисипативні процеси (наприклад, у будівлях, де вся підведена теплота фактично повністю дисипує в довкілля), дія одного з фундаментальних принципів термодинаміки — другого закону, за яким неможливо всю теплоту перетворити на механічну роботу, оскільки частину теплоти слід передати так званому холодильнику, тобто довкіллю. Звідси висновок — цю скидну теплоту вкрай потрібно утилізувати за допомогою різних техніко-економічно обґрунтованих способів.

На основі закону збереження маси зроблено оцінки збільшення концентрації CO_2 у земній атмосфері при використанні в 1950–2019 рр. вуглецевмісного палива — вугілля, нафти, природного газу. Показано зростання вмісту CO_2 на 102 ppm, що також повністю відповідає експериментальним даним NOAA.

У світовому вимірі, зокрема на недавніх кліматичних самітах, пропонують радикальні заходи щодо зниження викидів парникових газів, а саме:

1) країни Євросоюзу та Європарламент прийняли новий кліматичний закон, за яким ЄС знижує викиди парникових газів до 2030 р. на 55% (від рівня 1990 р.); Європа позиціонує себе як перший кліматично нейтральний континент до 2050 р.;

2) за підсумками саміту з питань клімату (22–23 квітня 2021 р.) в США за участю 40 лідерів країн світу ухвалено рішення знизити викиди парникових газів до 2030 р. на 55% (від рівня 1990 р.); США поставили собі за мету до 2050 р. створити економіку з нульовими викидами парникових газів.

У сценарії MEA NZE2050 передбачено різке зростання інвестицій в екологічно чисту енергію, що ставить енергетичну систему на шлях повного досягнення цілей стійкої енергетики. NZE2050 поєднує в собі всебічну трансформацію глобальної енергетичної системи, швидке зростання технологій, підвищення енергоефективності, широке використання ВДЕ (більш як третина в загальному балансі), збільшення обсягів уловлювання і використання вуглецю,

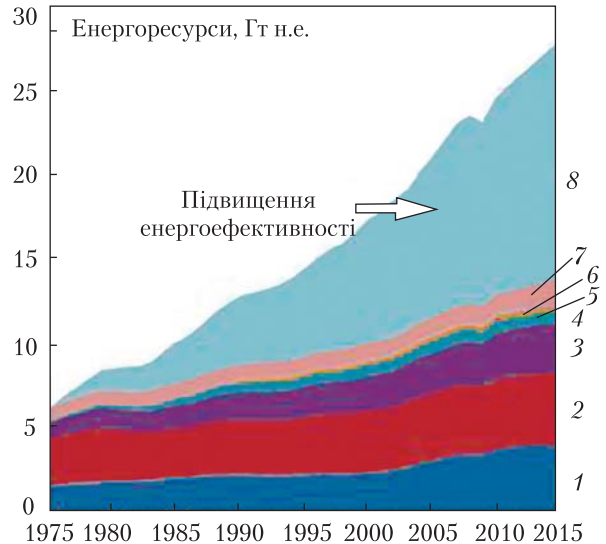


Рис. 2. Історична динаміка складу первинних енергоресурсів та ефект енергоефективності: 1 — вугілля; 2 — нафта; 3 — природний газ; 4 — атомна енергетика; 5 — гідроенергетика; 6 — геотермія, інсоляція, вітрова енергетика; 7 — біомаса і відходи; 8 — обсяги заощадженого енергоресурсу завдяки підвищенню енергоефективності, що в 2015 р. дозволило вдвічі знизити глобальну потребу в енергії (на майже 14 млрд т н.е.)

використання водню, а також новий імпульс розвитку атомної енергетики. Основними тенденціями є провідна роль ВДЕ і енергоефективності, зростання обсягів електроенергетики. На блок підвищення енергоефективності припадає до третини обсягів зменшення парникових газів. Підтвердженням цього є попередній досвід підвищення енергоефективності світової енергетики (рис. 2), коли впродовж 40 років (1975–2015 рр.) вдалося майже на половину зменшити реальні обсяги використання первинної енергії.

За розрахунками МЕА, кожен долар США, витрачений на енергоефективність, заощаджує 2 долари інвестицій в енергопостачання. Виконавчий директор МЕА Фатіх Біроль наголосив, що «енергоефективність — це «перше паливо», оскільки воно, як і раніше, є найчистішим і найчастіше найдешевшим способом задовольнити наші потреби в енергії».

Однак при розрахунках сценарію NZE2050 слід звернути увагу на нерівномірність розпо-

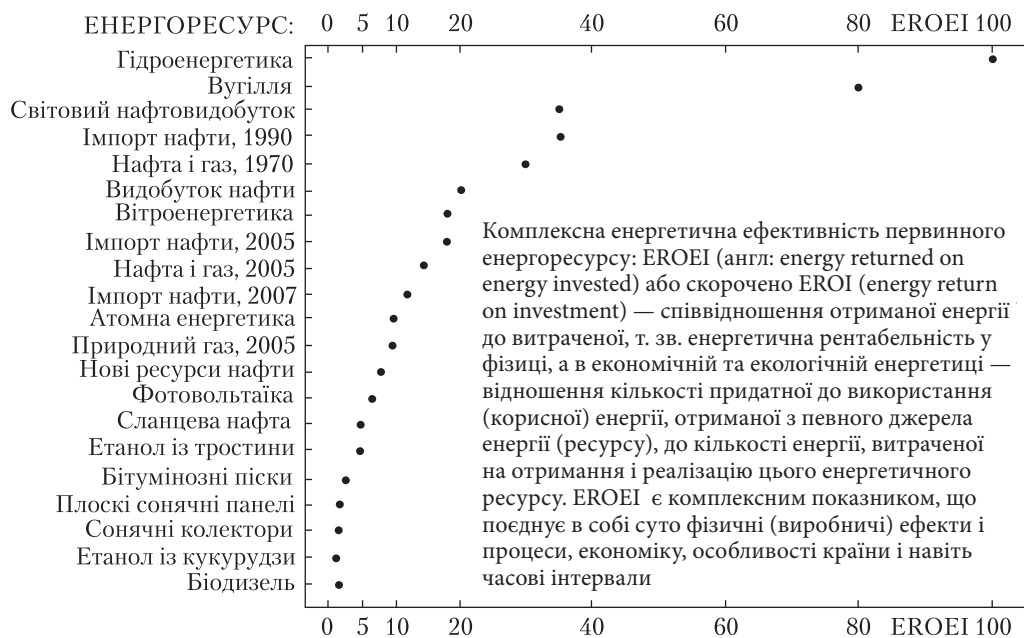


Рис. 3. Зміна показника EROEI для різних енергоресурсів у США станом на 2010 р.

ділу ефективності первинного енергоресурсу при його повному життєвому циклі, наприклад для економіки США (рис. 3).

Тепер розглянемо стан енергоефективності в Україні. За даними Держстату України, енергомісткість ВВП у 2019 р. становила 0,16 т н.е./1000 міжн. доларів за паритетом купівельної спроможності 2017 р. При перетворенні та транспортуванні енергії до кінцевого споживача втрачається 44 %, у ЄС цей показник становить 32 %.

В Україні потенціал скорочення витрат енергії при споживанні може досягати 60 %. Тільки у трьох секторах — житловому, бюджетному та постачання енергії (разом близько 63 % енергетичного балансу України) завдяки енергоефективності можна заощадити близько 19 млн т н.е., або 8 млрд євро, щороку. Значна частина бюджету домогосподарств (13 %) спрямовується на оплату комунальних послуг. Борги в комунальній сфері між учасниками ринку, що сформувалися внаслідок недосконалої нормативно-правової бази та збитковості теплокомуненерго, сягають понад 100 млрд грн. Економіка країни перебуває під тиском таких проблем і навіть загроз:

- неефективний механізм підтримки незахищених верств населення (крос-субсидування

ринку електроенергії збільшує навантаження на учасників ринку та формує нерівні ціни для різних категорій споживачів);

- незавершеність реформи ринку електроенергії (так і не було запроваджено «зелені» аукціони для відновлюваних джерел енергії, не було передбачено формування балансувальних потужностей);

- боргова криза на ринку електроенергії (викривлений ринок та дефіцит коштів для виробників електроенергії призвів до кризи неплатежів);

- накопичена заборгованість на ринку природного газу, яка сягає 100 млрд грн.

Водночас у країні створено належну законодавчу базу для розвитку енергоефективності, зокрема прийнято закони України «Про енергетичну ефективність будівель» (2017), «Про фонд енергоефективності» (2017), «Про енергетичну ефективність» (2021), а також Національний план дій з енергоефективності до 2030 року. Схожа ситуація складається і у сфері екології довкілля й запобігання потеплінню клімату, а саме: прийнято Стратегію низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року, Страте-

гію екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року, Стратегію енергетичної безпеки на період до 2025 року і Національну економічну стратегію на період до 2030 року.

На останній глобальній конференції з клімату COP-26 (Глазго, листопад 2021 р.), в якій взяли участь близько 200 країн і 45 великих світових компаній, активно обговорювали проблеми подальшого використання вугілля; зменшення викидів метану; відновлення лісів і деградованих земель; пом'якшення наслідків змін клімату; адаптації до кліматичних змін; фінансування та співробітництва державних органів та бізнесових кіл. При цьому поставлені в Кліматичному пакті завдання можна виконати лише в разі повної і безальтернативної консолідації зусиль усіх країн світу, особливо країн — основних емітентів парникових газів. Часткове вирішення проблем на окремих континентах чи в окремих країнах не приведе до загального успіху в боротьбі зі згубним потеплінням клімату. І тоді можуть стати в пригоді альтернативні підходи:

1. Бажано більш чітко з фізичної точки зору сформулювати суть проблеми. Замість алармістського «глобального потепління» доцільніше оперувати парадигмою «динаміка глобальної температури». Зміна клімату Землі має циклічний характер — є періоди потепління і похолодання.

2. Незалежно від джерела споживаної людством енергії зростання її використання збільшує розсіювання енергії в довкіллі. Збереження теплового балансу Землі приведе до підвищення температури її поверхні.

3. Можливо, варто скоротити витрати природних, технічних і інтелектуальних ресурсів на спроби керувати погано вивченими кліматичними процесами. Замість марної боротьби з неминучими змінами клімату доцільніше підготуватися до них і навіть намагатися отримати користь з цієї ситуації, адже певна користь є.

4. Необхідно зменшити інформаційне нагнітання у суспільстві кліматичних жахів і усвідомити, що в межах реально доступного нам горизонту прогнозу глобальна енергетична криза

людству не загрожує. Відбуватиметься плавна і звичайна зміна основних джерел енергії.

5. Економне і дбайливе ставлення до довкілля має стати моральною домінантою у суспільстві.

6. Основним завданням моделювання життєдіяльності людства повинне стати забезпечення плавного переходу від суспільства необмеженого споживання до суспільства раціонального споживання.

7. Керування кліматичними процесами за допомогою скорочення емісії парникових газів не здатне запобігти неминучому глобальному потеплінню, зумовленому космогенними причинами і прогресивним розвитком людства, однак потребує великих інвестицій, енергії та інтелектуальних зусиль і може підірвати світову економіку та національні економіки країн, що розвиваються.

8. Доки людство не має повного і адекватного уявлення про шляхи розвитку цивілізації і не вироблено відповідні виважені стратегічні рішення, найбільш раціональна тактика — не боротьба з неминучими змінами, а підготовка до майбутніх змін, адаптація до них, пом'якшення їх впливу.

9. У заходах з адаптації мають бути враховані досягнення науки і технологій у галузі енергетики, економіки, охорони здоров'я населення та захисту довкілля, сучасні тенденції розвитку соціальної екології та процесу екологізації суспільства у поєднанні з обов'язковим розвитком культури споживання матеріальних та енергетичних благ.

Сформульована останнім часом парадигма низьковуглецевого розвитку і стратегія зменшення ризиків від кліматичних змін передбачає передусім підвищення енергоефективності економіки. Саме тому в Інституті технічної теплофізики НАН України започатковано науковий напрям і відповідну наукову школу з розвитку енергоефективності на основі використання потенціалу світового тренду інтелектуальних низьковуглецевих технологій у тріаді енергетика—економіка—екологія з метою досягнення високого рівня технологічного укладу економіки. Цей напрям орієнтований переважно на розроблення, комплексні

дослідження та реалізацію системних науково-методологічних положень стратегічного, організаційного, інноваційного і економічно обґрунтованого розвитку систем енергоспоживання кінцевого користувача, зокрема підвищення енергоефективності промисловості та будівельно-житлової сфери (кваліфіковані споживачі, споживачі-регулятори, активні споживачі, «розумні» споживачі тощо).

Є навіть така думка: якби глобального потепління не було б, з точки зору провідних країн світу його слід було б вигадати, оскільки захо-

ди, що вживаються для його запобігання, сприяють розробленню нових енергетичних технологій, заснованих на відновлюваних джерелах енергії.

Автор висловлює щирі подяку своїм колегам, насамперед співавтору багатьох робіт з проблематики кліматичного потепління Є.Т. Базєєву, а також академікам НАН України О.В. Кириленку, В.М. Гейцю, Ю.Ф. Снежкіну, А.А. Долінському, О.М. Пономаренку за корисні поради й обговорення матеріалів доповіді.

Boris I. Basok

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8935-4248>

THE ENERGY SECTOR AND ENVIRONMENTAL POLLUTION

Report at the scientific session of the General Meeting of the NAS of Ukraine, February 17, 2022

The report examines the historical and forecasting aspects of global warming, the structure and dynamics of greenhouse gas emissions and emissions of hazardous gases in Ukraine. The main provisions of the Strategy for Environmental Safety and Adaptation to Climate Change until 2030, as well as the National Plan for Reducing Emissions from Large Combustion Plants until 2033 are analyzed. Data on the dynamics of primary and final energy use, on the amount of global investments in energy efficiency, as well as data on energy efficiency of primary energy resources and the degree of carbon content of renewable and alternative energy sources are given.