

**П. М. Канило**, д-р техн. наук  
**А. Л. Шубенко**, чл.-кор. НАН Украины  
 Институт проблем машиностроения  
 им. А. Н. Подгорного НАН Украины,  
 г. Харьков,  
 e-mail: pmk@ipmach.kharkov.ua

УДК 669.85/86+502.7

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА. ТОПЛИВНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

*Наголошується, що в XXI столітті перед теплоенергетикою як фундаментальною базою світової економіки поставлені історично важливі задачі з її подальшого розвитку з урахуванням обмеженості запасів нафти та природного газу, неохідності значного ресурсозбереження, більш широкого та ефективного використання альтернативних енергоносіїв, а також суттєвого зниження забруднення навколишнього середовища супертоксикуантами. Обґрунтовується висновок, що глобальне потепління клімату – це антропогенно-екологічна реальність, пов'язана з різким зростанням населення планети, а також істотним підвищенням рівнів споживання та неефективного використання природних ресурсів.*

**Ключові слова:** теплоенергетика, енергоносії, спалювання палив, токсиканти, парникові гази, навколишнє середовище, глобальне потепління клімату.

### Введение

Вся история жизнедеятельности человечества неразрывно связана с увеличением численности населения планеты, существенным ростом масштабов эксплуатации и разрушения природных систем, а также уровней потребления и неэффективного использования природных энергоресурсов, которые не возобновляются и конечны в объемах. Мировое потребление энергии продолжает расти высокими темпами. Только за последние 50–60 лет природных энергоресурсов было израсходовано в три раза больше, чем за все предыдущие столетия. В последние десятилетия ресурсно-экологические проблемы энергетики находят отражение в многочисленных публикациях, ими занимаются ведущие международные организации и институты. Однако до сих пор весьма значителен разброс в оценках как перспектив развития энергетики, так и масштабов, связанных с уровнем ее экологического воздействия на глобальные изменения природной среды, в том числе на современное потепление климата планеты, а также – на загрязнение среды жизни супертоксикуантами (СТ), включая и канцерогенно-мутагенные. Обеспокоенность масштабами наблюдаемых глобальных изменений природной среды и состоянием ресурсной базы планеты делает современную ресурсно-энерго-экологическую политику одним из главных регуляторов дальнейшего развития мировой энергетической отрасли, от эффективности работы которой как раз и зависит возможность решения основных глобальных экологических проблем человечества.

### Ресурсные проблемы мировой теплоэнергетики

Последние ~ 50 лет ознаменовались (рис. 1): двукратным увеличением численности населения планеты ( $N$ ), достигшей к 2016 г. свыше 7 млрд человек, урбанизацией, т. е. быстрым ростом городского населения, составляющим ~ 60% от общей численности, семикратным ростом экономической активности (рост глобального внутреннего валового продукта – ВВП) при увеличении объемов годового использования первичных энергоносителей ( $G$ ) с 4,9 до 13,1 млрд т нефтяного эквивалента (т н.э.), а, соответственно, и увеличением среднемирового годового удельного энергопотребления с 1,4 до 1,8 т н.э./чел. в год). Важным на современном этапе является то, что в промышленно развитых странах почти 50% бюджета тратится именно на обеспечение общества энергией [1–6].

Следует особо отметить, что беспрецедентно высокие темпы развития мировой экономики во многом достигнуты за счет интенсивного потребления истощаемых природных ресурсов при глобальных изменениях природной среды, включая деградацию ее регуляторных функций с неблагоприятными последствиями для человечества. при этом объем избыточной техногенной нагрузки на природу в указанный период стал слишком велик и приблизился к пределу устойчивости всей биосферы. Поэтому на ближайшие десятилетия можно отметить как бы три сценария перспектив дальнейшего

© П. М. Канило, А. Л. Шубенко, 2017



Рис. 1. Рост численности населения Земли, мирового потребления первичных энергоресурсов и глобального внутреннего валового продукта

развития мировой теплоэнергетики с учетом использования как традиционных (невозобновляемых) природных энергоресурсов, так и альтернативных энергоносителей:

1. Радикальный энергетический сценарий это – дальнейшее удвоение – утроение потребления энергии в течение текущего столетия, в том числе за счет роста использования традиционных ископаемых углеводородных энергоносителей. Данные по энергопотреблению последних пяти лет свидетельствуют о росте уровней использования традиционных энергоносителей, в том числе угля, преимущественно за счет Китая и Индии. Эта тенденция свидетельствует в пользу так называемой теории «угольного моста», сформулированной два десятилетия назад, в которой именно данный вид топлива должен будет заполнить нишу между иссякающими запасами нефти и природного газа при недостаточно быстро развивающихся технологиях эффективного использования альтернативных источников энергии. Итак, радикальный вариант энергопотребления предполагает дальнейшее расширение использования ископаемых энергоносителей до объемов, которые в ближайшие десятилетия, видимо, могут превысить не только их доказанные запасы, но подчас и гипотетические дополнительные ресурсы. В табл. 1 приведены данные по динамике изменения годовых потреблений извлекаемых природных энергоресурсов и их потенциальным запасам. Следует отметить, что известных запасов нефти и природного газа (даже при современном уровне их потребления) осталось ~ на 50 лет, а углей – более чем на 100 лет [6].

Таблица 1. Уровни потребления первичных энергоресурсов и их мировые запасы

Используемые энергоресурсы	Потребление по годам						Мировые запасы (2015 г.)
	1970	1980	1990	2000	2010	2015	
нефть, млн т	2254	2980	3150	3551	4080	4331	240·10 <sup>3</sup>
природный газ, млн т н.э.	891	1293	1766	2185	2887	3135	168·10 <sup>3</sup>
уголь, млн т н.э.	1480	1811	2243	2379	3634	3840	436·10 <sup>3</sup>

2. Стабилизация национального удельного энергопотребления на душу населения на уровне, определяемом климато-географическими факторами и, в основном, за счет повышения эффективности технологий как производства, так и использования энергии. Следует отметить, что этот процесс уже происходит в большинстве развитых стран мира. Реализация такого сценария должна обеспечить установление среднемирового годового удельного энергопотребления на душу населения примерно на уровне 1,8 т н.э./чел. в год, т.е. равном современному. Таким образом, при ожидаемом росте численности населения планеты к 2100 г. ~ до 10 млрд человек это может привести к ежегодному суммарному потреблению энергоресурсов ~ в 18 млрд т н.э., что будет примерно в 1,6 раза выше современного уровня.

3. Постоянное и, по-видимому, необратимое уменьшение углеродной интенсивности в теплоэнергетике, т.е. существенное снижение потребления традиционных ископаемых углеводородных энергоносителей за счет использования более сложных «законсервированных» энергоносителей, расширения объемов и более эффективного применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ),

синтетических углеводородных энергоносителей, получаемых в том числе из углей, а также биотоплив, водорода и т. д. В настоящее время в Европу уже поступают достаточно большие объемы водорода из Канады, где он производится путем электролиза воды с использованием электроэнергии, получаемой на гидростанциях в ночные промежутки времени. Отмечается также прирост мощностей, основанных на использовании ВИЭ, который в ряде стран (США, ФРГ, Китай, Индия, Бразилия) превысил ввод в действие энергетических мощностей с традиционным использованием ископаемых углеводородных энергоносителей. На рис. 2 приведены прогнозные данные по динамике изменения потребления основных видов энергоресурсов ( $G$ ) на период до 2100 года [5], а в табл. 2 – потенциальные ресурсы ВИЭ [2].

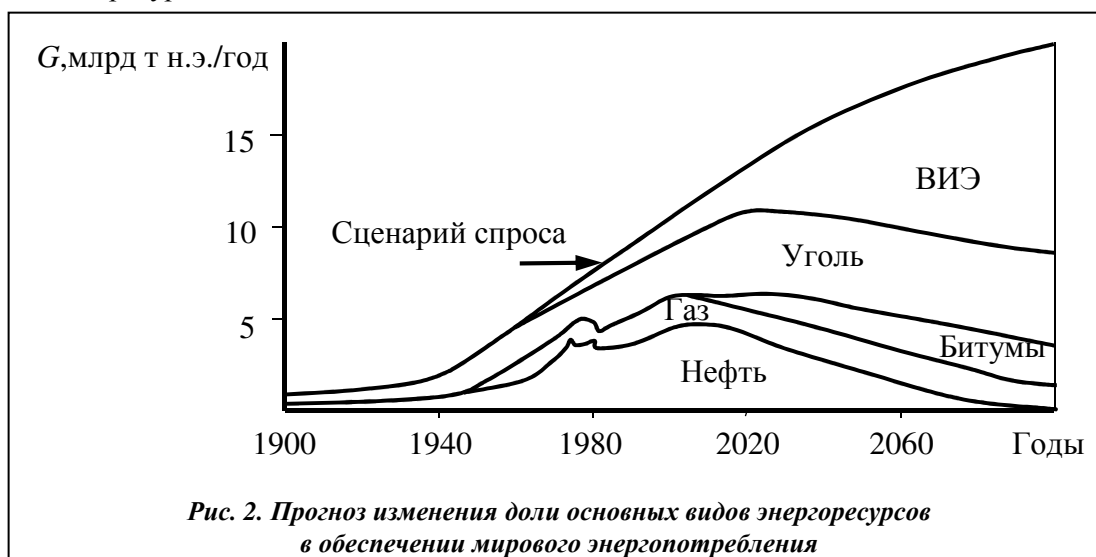
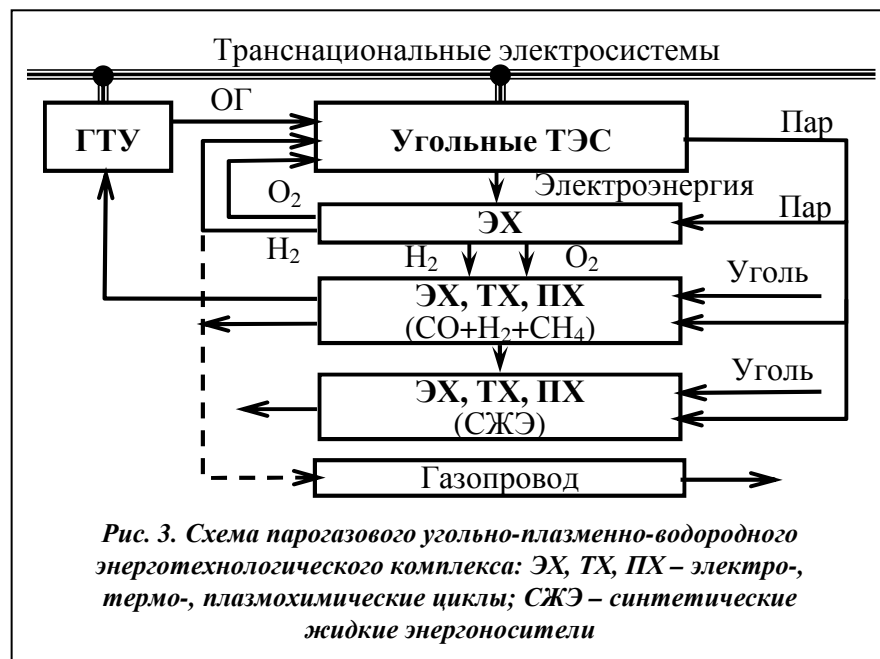


Рис. 2. Прогноз изменения доли основных видов энергоресурсов в обеспечении мирового энергопотребления

Таблица 2. Потенциал ВИЭ, млрд т н.э.

Вид ВИЭ	Теоретический потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
солнечная энергия	750	61,9	0,46
гидроэнергетика	3,4	1,3	0,69
энергия ветра	43	4,6	0,21
энергия морских волн и приливов	1,9	0,5	0,05
всего	798	68,3	1,41

Из представленных данных следует, что уже с конца первой четверти XXI века предполагается значимое снижение потребления традиционных ископаемых энергоносителей и рост использования ВИЭ. В результате для реализации рассматриваемого сценария к 2100 г. потребуются производство энергии с использованием ВИЭ в объемах от 8 до 10 млрд т н.э., что вполне осуществимо, поскольку эти объемы лежат ниже планки технического потенциала ВИЭ. Однако на уровне современных технологий преобразование ВИЭ, в первую очередь солнечной энергии, в тепловую или электрическую обходится относительно дорого (табл. 2, см. экономический потенциал). Чтобы обеспечить такой переход, необходимо (и это предельно важно) в ближайшие десятилетия отработать и внедрить значительно более эффективные технологии использования как остающихся ископаемых углеводородных топлив (УВТ), так и ВИЭ. Так, ежегодные капиталовложения разных стран мира в гелиоэнергетику быстро растут, а их доля, например в США, уже сейчас составляет более половины вложений в строительство традиционных тепловых электростанций (ТЭС). Но большинство исследователей приходят к заключению, что более интенсивными темпами должны развиваться наземные комбинированные высокоэкономичные энергокомплексы, например, в составе ТЭС и солнечной электростанции (СЭС), парогазовые энерго-технологические комплексы, например, при использовании угольно-плазменно-водородных технологий с одновременным производством синтетических УВТ (рис. 3, [5, 7]) и т. д.



Будущее стационарной теплоэнергетики многие специалисты связывают также с расширением использования безопасных атомных электростанций (АЭС), а затем – и термоядерных энергоустановок. В настоящее время в мире действует более 500 атомных реакторов и ~ 100 реакторов находится в стадии строительства. Следует отметить, что годовое производство электроэнергии на АЭС за период с 1970 по 2015 г. возросло с 78,4 до 2577,1 ТВт·ч/год, т. е. в 33 раза и составило в 2015 г. (в тепловом эквиваленте), соответственно, ~  $9 \cdot 10^6$  ТДж/год.

При этом за последние три года произошло увеличение объема производства электроэнергии на АЭС ~ на 4,5%. Международным агентством по атомной энергетике предполагается уже в ближайшие десятилетия увеличение выработки электроэнергии на АЭС до 3800 ТВт·ч/год [2]. Приняты необходимые меры по обеспечению безопасности функционирования существующих, строящихся и планируемых к строительству АЭС. Кроме того, в ведущих странах мира разрабатываются концепции новых ядерных источников энергии, в том числе так называемых реакторов четвертого поколения, обладающих высоким уровнем самозащитности. В критические моменты в таких установках будет происходить самоглушение реактора и ядерные реакции будут прекращены. Специалистами компании NuScale в США разработан и изготовлен экспериментальный образец «миниатюрной» АЭС мощностью 50 МВт, которую можно перемещать с помощью наземных транспортных средств. Ведутся также работы в области управляемого термоядерного синтеза. Подписано соглашение (ЕС, США, Россия, Китай, Япония, Индия, Южная Корея) о строительстве первого в мире экспериментального термоядерного реактора, на котором кроме электроэнергии будет воспроизводиться также ядерное топливо. Запуск реактора намечено к 2026 г. во Франции. Изначально на реализацию программы выделено 13 млрд дол. США. Поэтому если к концу XXI в. мощность конечного потребления энергии будет находиться на уровне (20 – 30 ТВт), то придется, видимо, опереться на три возможных варианта: ядерную энергию деления, энергию термоядерного синтеза и энергию Солнца. Эти варианты будут использоваться в различных комбинациях при существенном сокращении объемов потребления углеводородных топлив. При этом термоядерный синтез, использующий дейтерий, запасы которого практически не ограничены, мог бы разрешить энергетические проблемы человечества. Но появление в эксплуатации термоядерных установок такого типа можно ожидать, видимо, к концу XXI века.

Становится очевидным, что в XXI веке вновь произойдет эпохальная смена основного энергоносителя – ископаемые углеводородные топлива будут вытесняться альтернативными энергоносителями. Специалисты приходят к обоснованному выводу: развитие энергетики должно идти по пути комплексного использования различных источников энергии, эффективно дополняющих друг друга в различных климато-географических условиях, обеспечивающих комплексную экономическую и экологическую эффективность объединяющих их энергосистем и природно-технических систем. В основу такой энергетической стратегии должны быть положены принципы: энерго- и ресурсосбережения, повышения экономичности и экологической безопасности энергетических установок.

### Важнейшие экологические проблемы мировой теплоэнергетики

Возрастание численности населения планеты, неуклонное расширение объемов потребления ресурсов Земли и их неэффективное использование (из добываемых в огромных объемах природных

ресурсов производится не более 5% полезной продукции, а остальное выбрасывается в виде отходов, загрязняя природную среду), рост уровней производства в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, расширение и усложнение международных хозяйственных связей – все эти и многие другие факторы привели к возрастающей техногенной нагрузке на ПРИРОДУ, к различным формам ее деградации, разрушению и уничтожению систем биосферы, включая глобальную биоту, и приводящих, соответственно, к снижению качества их функционирования, в том числе – биопродуктивности, средообразующих и климатостабилизирующих функций, с отрицательными последствиями для человечества [1–5, 8, 9].

### Глобальное потепление климата

Проблема глобального потепления климата на Земле и его влияние на человека и экономику в целом выдвинута в ряд важнейших. Однако возможные причины потепления климата и, соответственно, методы разрешения этой проблемы вызывают серьезные споры как среди ученых, так и среди политиков. В настоящее время существует три основные гипотезы объяснения данного явления [5]:

а) индустриально-углеродная – рост уровней выбросов в тропосферу парниковых газов (ПГ), в первую очередь CO<sub>2</sub>, с продуктами сжигания ископаемых УВТ, в том числе с дымовыми газами теплоэнергетических установок;

б) природно-обусловленная, связанная с ростом солнечной активности и другими космическими явлениями;

в) антропогенно-экологическая, связанная с расширением масштабов хищнической эксплуатации человеком природных систем, разрушением и деградацией биосферы, глобальным загрязнением атмосферы, литосферы и Мирового океана супертоксикантами и, соответственно, приведшим к нарушению веками отработанного природного (биотического) механизма стабилизации парникового эффекта и климата планеты в целом.

В табл. 3 приведены данные по суммарному годовому потреблению мировой теплоэнергетикой всех первичных энергоресурсов (ПЭ), отдельно – ископаемых углеводородных топлив (уголь, нефть, природный газ), а также – по усредненным годовым уровням выбросов в атмосферу CO<sub>2</sub> и СТ с продуктами сжигания УВТ [3–6].

Таблица 3. Потребление ПЭ и УВТ мировой теплоэнергетикой, уровни эмиссии CO<sub>2</sub> и СТ

Потребление ПЭ и УВТ, выбросы CO <sub>2</sub> и СТ в ОС	По годам					
	1970	1980	1990	2000	2010	2015
ПЭ, млн т н.э./год	4910	6638	8136	9388	12181	13147
УВТ, млн т н.э./год	4625	6084	7159	8115	10601	11306
CO <sub>2</sub> , млрд т/год	14,5	18,6	21,6	24	31,5	33,5
SO <sub>2</sub> , млн т/год	400	430	470	510	550	600
NO <sub>x</sub> , млн т/год	130	150	170	190	220	250
ТЧ, млн т/год	180	220	240	270	320	350
БП, тыс. т/год	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0

Следует дополнительно отметить:

- доля техногенных ТЧ на порядок выше, чем природных;
- доля нефти и природного газа в суммарно используемых УВТ (по тепловому эквиваленту) составляет, например для 2015 г. ~ 66%;
- относительные уровни выбросов CO<sub>2</sub> в тропосферу при сжигании УВТ в различных топливосжигающих отраслях мировой экономики составляют (IEA statistics: CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, 2015 edition): теплоэнергетика ~42; транспорт ~ 23; промышленность ~ 19; ЖКХ ~ 6; сфера обслуживания ~ 3; другие ~ 7%.

На рис. 4 приведены обобщенные данные по изменениям концентраций CO<sub>2</sub> в тропосфере (C<sub>CO<sub>2</sub>(троп.)</sub>); росту среднеглобальной среднегодовой приземной температуры воздуха (ССПТВ) – Δt<sub>в</sub>; уровням дополнительного массового накопления CO<sub>2</sub> в тропосфере (ΔM<sub>CO<sub>2</sub>(троп.)</sub>) и суммарным уров-

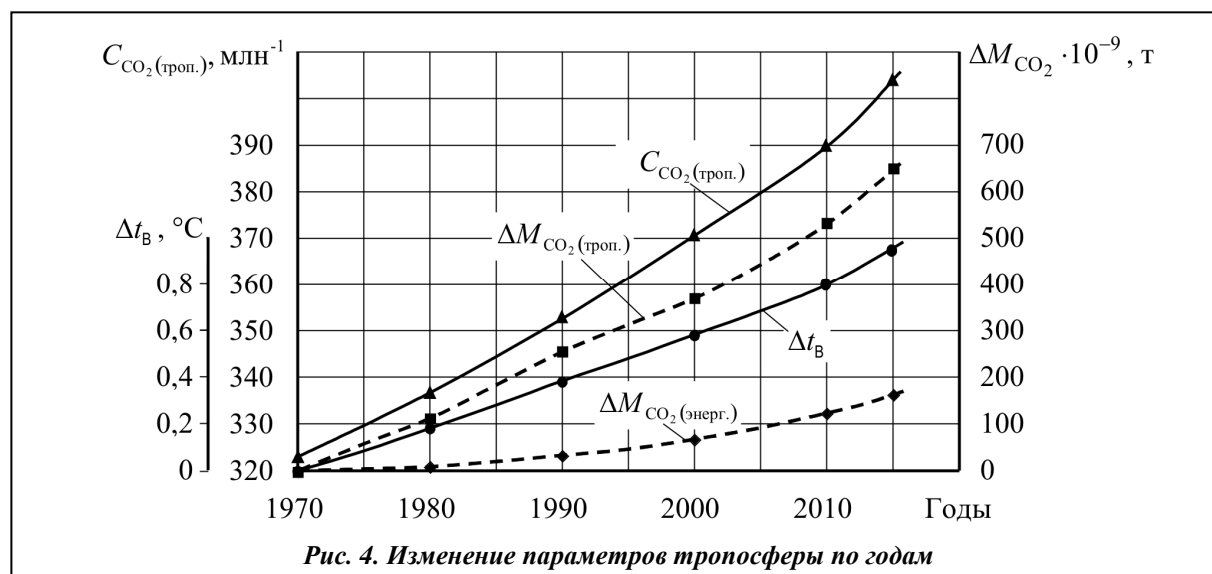


Рис. 4. Изменение параметров тропосферы по годам

ням превышения (по сравнению с 1970 г.) массовых выбросов  $CO_2$  с дымовыми газами мировой теплоэнергетики ( $\Delta M_{CO_2(энерг.)}$ ) [3, 5, 6]. Данные по  $\Delta M_{CO_2(троп.)}$  и  $\Delta M_{CO_2(энерг.)}$  за период с 1970 по 2015 гг. определялись по следующим зависимостям:

$$\Delta M_{CO_2(троп.)} = M_{(троп.)} \cdot (C_{(2015)} - C_{(1970)}) \cdot \mu_{CO_2} / \mu_{B.} = 5,3 \cdot 10^{15} \cdot (81 \cdot 10^{-6}) \cdot 44 / 28,8 = 650 \cdot 10^9 \text{ т,}$$

$$\Delta M_{CO_2(энерг.)} = 0,42 \cdot \sum_{i=1970}^{2015} (M_{CO_2(i+1)} - M_{CO_2(1970)}) = 160 \cdot 10^9 \text{ т,}$$

где  $\mu_{CO_2}$  и  $\mu_{B.}$  – соответственно молекулярная масса  $CO_2$  и воздуха;  $M_{(троп.)}$  – масса тропосферы Земли;  $M_{CO_2(1970)}$  и  $M_{CO_2(i+1)}$  – массовый уровень выбросов  $CO_2$  с продуктами сжигания УВТ в 1970 г. и соответствующие уровни выбросов  $CO_2$  за каждый последующий год; коэффициент 0,42 – относительная доля выбросов  $CO_2$  с дымовыми газами мировой теплоэнергетики по сравнению с выбросами  $CO_2$  при сжигании всех УВТ.

Из представленных данных следует:

- за период с 1970 по 2015 гг. в тропосфере Земли увеличились: объемная концентрация  $CO_2$  с 324 до 405 ч.н.м., дополнительное накопление  $CO_2 \sim 650 \cdot 10^9$  т, прирост ССПТВ, соответствующий этому значению  $\Delta M_{CO_2(троп.)}$ , достиг  $1^\circ C$ ;
- суммарный уровень дополнительных выбросов  $CO_2$  с дымовыми газами мировой теплоэнергетики за указанный период составил  $\sim 160 \cdot 10^9$  т, что ниже 25% от уровня накопления  $CO_2$  в тропосфере [6].

Приведенные данные указывают на то, что определяющая доля в накоплении  $CO_2$  в тропосфере, а, соответственно, и увеличение уровня парникового эффекта принадлежит не мировой теплоэнергетике, а другим, более значимым источникам, в первую очередь потерянными стокам  $CO_2$  из тропосферы из-за нарушения природного (биотического) механизма регулирования содержания  $CO_2$  в тропосфере. Нарушение указанного природного механизма стабилизации климата планеты происходило и происходит вследствие антропогенно-экологического воздействия на биосферу Земли, приводящего к деградации и разрушению фотосинтезирующих систем экосферы. Многие ученые указывают на то, что определяющим фактором современного глобального потепления климата Земли является именно антропогенно-экологический [2, 3, 5, 8, 9]. Так, в пятом оценочном докладе Международной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) отмечается: «Большая часть глобального потепления климата со середины XX века объясняется антропогенно-экологическими факторами. При этом вероятность влияния внешних факторов на потепление климата Земли не превышает 5%». Поэтому человечество уже не может продолжать ту же стратегию интенсивного роста объемов использования природных энергоресурсов и таких масштабов разрушения природных систем, поскольку

ку имеется предел устойчивости биосферы планеты, а, соответственно, – и существования жизни на Земле.

На мировом же политическом уровне используется неверный энергетико-парниковый диагноз глобального потепления климата на планете, и в течение более трех десятилетий указанную проблему пытаются решать путем замены естественно-природных (биотических) стабилизаторов климата искусственно-техногенными, в том числе путем улавливания  $\text{CO}_2$  из дымовых газов стационарной энергетики, что лишено, как следует из рис. 4, здравого смысла. Однако на климатическом саммите в Париже (декабрь 2015 г.) было принято решение, что к 2030 г. выбросы  $\text{CO}_2$  теплоэнергетикой должны быть снижены от 26% (США) до 40% (Евросоюз) по сравнению с 2000 г. Следует особо отметить, что указанное технологическое уменьшение уровней выбросов  $\text{CO}_2$  мировой теплоэнергетикой (в среднем не более чем на  $3 \cdot 10^9$  т в год) сможет гипотетически снизить к указанному сроку растущую ССПТВ не более чем  $\sim$  на  $0,05$  °С. Но при этом затраты на изготовление и внедрение таких улавливающих  $\text{CO}_2$  технологических систем могут составить десятки и сотни миллиардов долларов США.

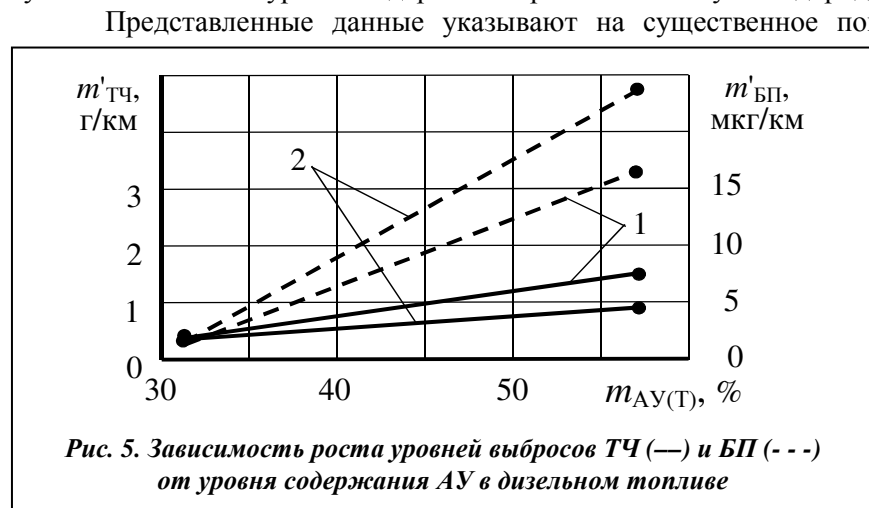
Имеется также и другое утверждение о значимом влиянии на климат планеты прямого теплового воздействия мировой теплоэнергетики. Однако известно, что на поверхность Земли ежегодно (практически постоянно) поступает  $\sim 3,6 \cdot 10^{12}$  ТДж/год солнечной тепловой энергии, которая совместно с другими астрономическими и геоклиматическими процессами определяет (в основном) глобальную составляющую климата планеты. А вот при сжигании, например, в 2015 г. традиционно используемых в теплоэнергетике УВТ было выделено  $\sim 0,6 \cdot 10^9$  ТДж тепловой энергии, что более чем на три порядка ниже подведенной солнечной энергии. Поэтому уровень влияния мировой теплоэнергетики (с точки зрения дополнительного теплового загрязнения тропосферы Земли) по сравнению с гигантскими природными энергетическими потоками является предельно незначительным. Тепловое воздействие мировой энергетики будет проявляться в основном локально, например, в районах расположения ТЭС и АЭС с их прудами-охладителями.

#### **Канцерогенно-мутагенное загрязнение жизненной среды**

Еще одной глобально-экологической проблемой человечества, связанной со сжиганием ископаемых УВТ, является проблема загрязнения природной среды (особенно городской) канцерогенно-мутагенными ингредиентами (КМИ). При этом как стационарная, так и особенно энергетика транспортных систем с двигателями внутреннего сгорания, являются определяющими техногенными источниками загрязнения ОС. Мировая теплоэнергетика (табл. 3) выбрасывает в ОС ежегодно с продуктами сжигания топлив и стоками шлаков (из котлов угольных энергоустановок) сотни миллионов тонн СТ: оксидов азота –  $\text{NO}_x$ , оксидов серы –  $\text{SO}_x$ , твердых частиц – ТЧ, тяжелых металлов и радионуклидов, канцерогенных углеводородов (КУ), включая бенз(а)пирен – БП ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ ), который в международной практике принят в качестве индикатора наличия КУ в продуктах сжигания топлив. Все это отрицательно сказывается как на качестве функционирования биосферы Земли, так и здоровье людей. Несмотря на относительно небольшие уровни годовых выбросов БП (КУ) с продуктами сжигания УВТ их экологическое воздействие на человека и все живое на Земле более опасно, чем, например, раздельное или даже суммарное воздействие  $\text{NO}_x$  и ТЧ [4, 5].

В настоящее время в больших городах среднесуточные концентрации БП в атмосфере превышают на порядок указанные концентрации БП в сельской местности. В местах же интенсивного движения автотранспорта его концентрации в воздухе превышают допустимый уровень на два порядка и более. В условиях ОС многие КУ, включая БП, совместно с  $\text{NO}_x$  синтезируют нитроканцерогенные соединения, обладающие мутагенными свойствами, т.е. способностью нарушать генетические программы клеток и вызывать в организме человека изменения наследственных свойств. Установлено также, что мелкодисперсные ТЧ, а также пыль, сорбируя КУ, являются не только их носителями, но и многократно усиливают канцерогенно-мутагенное воздействие на организм человека [5]. По мнению медиков, именно КМИ в атмосфере больших городов  $\sim$  на 80% определяют риск возникновения онкологических заболеваний у людей [10]. Поэтому интерес к проблеме канцерогенно-мутагенного загрязнения городской среды во всем мире растет, но, к сожалению, еще быстрее распространяется само присутствие этих соединений в экосистемах. При этом стремительное увеличение в городах количества автомобилей и их дизелизация, расширение использования высокоаромати-

зированных нефтяных моторных топлив, а также увеличение доли использования устаревших автомобилей усугубляют решение указанной проблемы. На рис. 5 приведены данные по удельным выбросам ТЧ ( $m'_{ТЧ}$ ) и БП ( $m'_{БП}$ ) с отработавшими газами (ОГ) легковых автомобилей с дизелями (Oldsmobile Delta 88 diesel – 1 и Peugeot 505 D – 2) при их испытании по Европейскому городскому ездовому циклу в зависимости от уровня содержания ароматических углеводородов (АУ) в дизельных топливах.



Представленные данные указывают на существенное повышение уровней выбросов ТЧ (в 2 – 3 раза) и особенно БП (в 8 – 12 раз) с продуктами сжигания УВТ при увеличении в них содержания АУ с 32 до 57%, что приводит к существенному повышению суммарной экокancerогенной опасности (ЭКО) транспортных и стационарных энергоустановок. Проекты по снижению выбросов КУ и ТЧ топливосжигающими энергетическими установками уже реализуются в ФРГ, Нидерландах и ряде штатов США

[4]. При этом важнейшими направлениями в повышении экокancerогенной безопасности топливосжигающих установок являются повышение их эксплуатационной топливной экономичности и параметрической надежности; ограничение содержания в топливах ароматических и особенно полиароматических углеводородов, а также серы; расширение доли использования альтернативных топлив, в том числе синтетических УВТ (с низким уровнем АУ) и водорода в качестве как основных, так и дополнительных энергоносителей; оборудование установок современными компьютерными системами управления процессами подачи, распыливания и сжигания топлив, а также каталитическими системами нейтрализации продуктов сжигания топлив.

### Выводы

Перед мировой теплоэнергетикой в XXI веке поставлены важные задачи по ее дальнейшему развитию с учетом: конечности запасов традиционно потребляемых ископаемых энергоносителей, широкомасштабного и более эффективного использования возобновляемых энергоресурсов при существенном снижении техногенной (экологически опасной) нагрузки на природную среду и человека. Решение важнейших для человечества ресурсно-энерго-экологических проблем, включая глобальное потепление климата и канцерогенно-мутагенное загрязнение среды жизни, реально может быть обеспечено на основе создания и реализации на международном уровне программы «Альтернативная энергетика XXI века с экологической направленностью» с привлечением крупнейших специалистов мира, ученых и соответствующим международным финансированием подобно мировому соглашению о разработке и создании экспериментального термоядерного реактора.

Можно предположить следующий сценарий развития мировой теплоэнергетики с учетом более эффективного использования как традиционных энергоресурсов, так и альтернативных возобновляемых энергоносителей, в первую очередь, – солнечной энергии. В соответствии с международной программой «Альтернативная энергетика XXI века...» следует реализовать три направления:

1. Угольная теплоэнергетика на ближайшие десятилетия должна оставаться базовой с минимизацией использования природного газа. Для этого потребуется, с одной стороны, модернизация энергетических котлов ТЭС с использованием более эффективных и экологически безопасных технологий сжигания угольной пыли, например, усовершенствование технологий сжигания углей в кипящем слое. Параллельно должна проводиться разработка, изготовление и внедрение высокоэкономичных парогазовых энерго-технологических комплексов с использованием угольно-плазменно-водородных технологий, которые смогут обеспечивать одновременное производство тепла, электроэнергии, водорода и синтетических УВТ, в том числе жидких моторных топлив.



Проблема глобального потепления климата на Земле должна решаться, в том числе путем восстановления качества функционирования природных экосистем, а, соответственно, – веками отработанным природным (биотическим) механизмом стабилизации уровня парникового эффекта. При этом будет обеспечиваться увеличение уровней стоков CO<sub>2</sub> (как основного парникового газа) из тропосферы и не потребуются использование дорогостоящих и практически ничего не решающих технологических устройств для улавливания CO<sub>2</sub> из дымовых газов теплоэнергетических установок.

2. Более широкомасштабное использование ВИЭ, в первую очередь солнечной энергии, так как ее технический потенциал превышает потенциал других ВИЭ. При этом остальные ВИЭ могут быть эффективно использованы локально в определенных географически-климатических условиях. Уже сегодня значительные финансовые ресурсы вкладываются в отработку высокоэффективных технологий преобразования солнечной энергии и создание экспериментальных образцов солнечных электростанций (СЭС). На рынке солнечных энергосистем лидерами являются Япония, США, Израиль и ФРГ, где существуют национальные программы развития солнечной энергетики. По прогнозам Еврокомиссии в 2030 г. мощность эксплуатируемых СЭС может составить ~ 0,2 ТВт. Предполагается рациональным создание энергокомплексов в составе ТЭС и СЭС.

3. Будущее тепловой теплоэнергетики многие специалисты связывают с расширением использования безопасных атомных электростанций (АЭС), а затем – термоядерных. Международным агентством по атомной энергетике предполагается, что в ближайшие десятилетия увеличение выработки электроэнергии на АЭС достигнет 3800 ТВт·ч/год. Планируется модернизация АЭС с установкой более безопасных реакторов четвертого и пятого поколений, а к 2026 г. возможен запуск во Франции экспериментального термоядерного реактора.

Поэтому если к концу XXI века потребная суммарная мощность энергоустановок будет находиться на уровне ~ 30 ТВт, то придется, как считают специалисты, опереться на три возможных варианта: энергию Солнца, ядерную энергию деления и энергию термоядерного синтеза. При этом термоядерный синтез, использующий дейтерий, запасы которого практически не ограничены, мог бы разрешить энергетические проблемы человечества.

### Литература

1. *Энергия. Экология. Будущее: Учеб.* / В. П. Семиноженко, П. М. Канило, В. Н. Остапчук, А. И. Ровенский. – Харьков: Прапор, 2003. – 464 с.
2. *Клименко, В. В.* Мировая энергетика и климат планеты в XXI веке в контексте исторических тенденций / В. В. Клименко, А. Г. Терешин, О. В. Микушина // Журн. Рос. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. – 2008. – Т. LII, № 6. – С. 11–17.
3. *Канило, П. М.* Тепловая энергетика, ДВС и глобальное потепление климата / П. М. Канило, А. П. Марченко, И. В. Парсаданов // Двигатели внутреннего сгорания. Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. – № 2. – С. 57–68.
4. *Канило, П. М.* Автотранспорт. Топливо-экологические проблемы и перспективы / П. М. Канило. – Харьков: Харьков. нац. автотрансп. ун-т, 2013. – 272 с.
5. *Канило, П. М.* Глобальное потепление климата. Антропогенно-экологическая реальность / П. М. Канило. – Харьков: Харьков. нац. автотрансп. ун-т, 2015. – 312 с.
6. *BP-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bp.com/statisticalreview>. – 12.08.2016.
7. *Канило, П. М.* Угольно-водородные парогазовые комплексы с дополнительным производством синтетических топлив / П. М. Канило, В. В. Соловей, В. Е. Костюк // Пробл. машиностроения. – 2009. – Т. 12, № 4. – С. 64–72.
8. *Морев, С. Ю.* Климатические проблемы XXI века / С. Ю. Морев // Усп. современ. естествознания. – 2012. – № 3. – С. 65–68.
9. *Лосев, К. С.* Парадоксы борьбы с глобальным потеплением / К. С. Лосев // Вестн. РАН. – 2009. – Т. 79, № 1. – С. 36–40.
10. *Матвеева, Н. А.* Гигиена и экология человека / Н. А. Матвеева, А. В. Леонов, М. П. Грачева. – М.: Академия, 2005. – 304 с.

Поступила в редакцию 01.02.17