УДК 620: 327

ЕНЕРГЕТИКА: ПРОГНОЗИ РОЗВИТКУ, ТОЧКИ БІФУРКАЦІЇ (ОГЛЯД)**Басок Б.І.**, чл.-кор. НАН України, **Базєєв Є.Т.**, канд. техн. наук*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна*<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2020.7>

Представлений прогноз розвитку енергетики світу, Європи та України. Підкреслено, що в своєму розвитку енергетика проходить точки біфуркації, вихід з яких може міняти сценарії розвитку аж до припинення робіт по ряду наукових напрямків і технологій. Наведено пропозиції щодо необхідності супроводжувати енергетичні стратегії, в тому числі і прийняту в Україні в 2017 році нову енергетичну стратегію, робочими документами - оперативними легкими планами-прогнозами (дорожніми картами) для управління і моніторингу ходу реалізації стратегії на проміжних тимчасових інтервалах, можливо, створивши для цих цілей спеціалізовану структуру.

Представлен прогноз развития энергетики мира, Европы и Украины. Подчеркнуто, что в своём развитии энергетика проходит точки бифуркации, выход из которых может менять сценарии развития вплоть до прекращения работ по ряду научных направлений и технологий. Приведены предложения о необходимости сопровождать энергетические стратегии, в том числе и принятую в Украине в 2017 году новую энергетическую стратегию, рабочими документами – оперативными скользящими планами-прогнозами (дорожными картами) для управления и мониторинга хода реализации стратегии на промежуточных временных интервалах, возможно, создав для этих целей специализированную структуру.

The forecast of energy development in the world, Europe and Ukraine is presented. It was emphasized that in its development the energy industry passes through bifurcation points, the exit from which can change the development scenarios up to the termination of work in a number of scientific areas and technologies. Suggestions are made on the need to accompany energy strategies, including the new energy strategy adopted in Ukraine in 2017, with working documents - operational sliding forecast plans (roadmaps) to manage and monitor the progress of the strategy implementation at intermediate time intervals, possibly creating for these purposes a specialized structure.

Бібл. 22, рис.4.

Ключові слова: енергетика, енергетична стратегія, прогнозування, реалізація стратегії, точки біфуркації, управління і моніторинг, дорожня карта.

Геополітичні і економічні турбулентності в світі викликають необхідність оперативно відстежувати і при необхідності вносити корективи в прогнози розвитку економіки країн і світу в цілому і, в тому числі, базової складової економіки – енергетики. В даний час системне прогнозування енергетики, як складової частини тріади: енергетика-економіка-екологія, є загальноновизнаним і використовується в провідних енергетичних країнах. У світі запропонований цілий ряд систем енергетичних прогнозів: Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), Міністерства енергетики США (МЕ США), Міжнародного інституту прикладного аналізу ряду дослідницьких центрів Європейської комісії та ООН. У Росії – це Модельно-Інформаційний Комплекс Енергетичних Перспектив (МІКЕП), в Україні – програма «Форсайт», створена в інституті системного аналізу НТТУ «КПІ» імені Ігоря Сікорського», макроекономічна модель стратегії розвитку енергетики TIMES-Україна ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України", Psychea-Expertus. Є й інші моделі: LEAP-модель (Long-range Energy Alternatives), модель Хольта-Вінтерса, модель MARKAL/TIMES і ін.

Порівняно недавні прогнози розвитку енергетики світу і Європи до 2040 року представлені в [1]. Там з використанням інформаційно-модельного комплексу SKANER представлені три сценарії розвитку енергетики: сприятливий (світова економіка росте високими темпами, ризики відсутні, активний трансфер технологій в світі); ймовірний (існуючий тренд розвитку енергетики зберігається); критичний (економічний спад світової економіки, геополітичні конфлікти, обмежені перетоки капіталу).

У той час, як у світі зростають ВВП, загальне первинне постачання енергетичних ресурсів (ЗППЕ) і, відповідно, обсяги викидів CO₂ (рис. 1), в Європі зростання ВВП супроводжується падінням ЗППЕ і стійкою траєкторією зниження викидів CO₂ (рис. 2). Це пояснюється реалізацією політики енергоефективності використання енергоресурсів відповідно до прийнятої в свій час європейською концепцією "20-20-20". На рис. 3 представлені аналогічні показники прогнозу для України. Зростання ВВП України відбувається при помірних темпах підвищення ЗППЕ і викидів CO₂ [3].

Як видно з рис. 1 і 2, в 2035 році може відбутися втрата стійкого тренду розвитку енергетики і початок одного з можливих 3-х вищезазначених сценаріїв розвитку енергетики до 2040 року. Таким чином, 2035 рік позиціонується як точка біфуркації на шляху розвитку енергетики, вихід з якої може привести до одного з 3-х сценаріїв (в енергетичній стратегії України «НЕС 2035» таке "віялове" розвитку сценаріїв не прогнозується). Точка біфуркації в зв'язку з «невизначеними очікуваннями»

могла проявити себе і раніше 2035 року, як це і сталося при прояві обрушеного на весь світ COVID-19 в 2020 році.

Поведінка систем, що проходять на шляху свого розвитку точки біфуркації, детально досліджена лауреатом Нобелівської премії, фізиком-хіміком І.Р. Пригожиным [11-13]. Унікальність точок біфуркації в тому, "...що стан системи втрачає стабільність і може розвиватися в бік багатьох різних режимів

Рис. 1. Прогноз споживання ПЕР, динаміки ВВП і викидів CO_2 енергетики світу до 2040 р. [1]. Відповідно заповнені позначки ■, ▲, ● – прогнозні дані [1], позначка □ – реальні (статистичні) дані для CO_2 [2], для 2020 р. – прогноз [2]. Сценарії: лінія 1 – оптимістичний, 2 – реалістичний, 3 – песимістичний

Рис. 2. Прогноз споживання ПЕР, динаміки ВВП і викидів CO_2 енергетики Європи до 2040 р. [1]. Позначення аналогічні рис. 1

функціонування. У цих точках найповніші знання не дають нам можливості розрахувати те, що станеться, замінити ймовірність упевненістю. Система вишукує таким чином якусь "діаграму біфуркацій", "карту можливостей", в той час як вона все більше віддаляється від стану рівноваги через зміну своїх відносин із середовищем." [11]. У простому випадку в точці біфуркації буде дві гілки зі стійким рішенням, далі по одній з гілок розвиток йде до наступної точки біфуркації (див. рисунки в Віснику РАН, № 6 2017 [12]). Під впливом різної природи флуктуацій "...в будь-який момент часу може виникнути новий тип рішення, що не зводиться до попереднього, а в точках зміни типів рішень - в точках біфуркації - може відбуватися зміна просторово-часової організації об'єкта." [13]. На подальший шлях розвитку енергетики з того чи іншого сценарію може з'явитися наступна точка біфуркації, в якій відбудеться втрата стійкості тренду розвитку системи. "І, що особливо дивно, навколишнє середовище, клімат, екологія і, між іншим, наша нервова система можуть бути зрозумілі тільки в світлі описаних уявлень, які враховують як стабільність, так і нестабільність. Ця обставина викликає підвищений інтерес багатьох фізиків, хіміків, метеорологів, фахівців в області екології, енергетики (виділення авторів)." [13].

Свого часу українська енергетика вже проходила такі точки біфуркації. У 1984 році були прийняті Основні положення Енергетичної програми СРСР на тривалу перспективу і республіканська цільова комплексна науково-технічна програма «Енергокомплекс». Однак, глобально-політичні зміни в СРСР і в світі (епоха «перебудови», розвал СРСР і всього соцтабору) унеможливили цілі та завдання програм. Зі здобуттям незалежності перед Україною постало завдання розробити вітчизняну стратегію розвитку енергетики.

У 1950 р. за Постановою Ради Міністрів Української РСР № 3199 від 01. 11.1949 р. почали проводитися роботи по комплексному використанню місцевого палива УРСР шляхом його напівкоксування, газифікації та переробки первинної смоли. Протягом 1951-1953 рр. на спеціально споруджених на Київській ГЕС на напівпромислових установках були проведені дослідження зі швидкісного методу напівкоксування твердим теплоносієм бурого вугілля Олександрійського родовища і по переробці первинної смоли з одержанням ряду цільових хімічних продуктів.

Ґрунтуючись на результатах досліджень, був розроблений проект і в м. Олександрія в системі комбінату "Українауглебуд" була споруджена дослідна установка з переробки 200 тисяч тонн бурого вугілля з вологістю

Рис. 3. Реалії (незаповнені позначення) та прогноз (заповнені позначення ●, ▲, ■) споживання ПЕР, динаміки ВВП і викидів CO₂ енергетики України з 2010 р.

і до 2035-2040 рр. [1]. Позначення аналогічні рис. 1.

Дані по ЗППЕ: ● – [3], ○ – [4]; по ВВП: △ – в міжнародних доларах за ПКС 2011 р. [5],

▲ – в \$ США 2010 року [6], ◆ – люб'язно надані дані ДУ «Інститут економіки та

прогнозування» НАН України, в \$ США в цінах 2010 року; по CO₂: × – по кодам МГЕЗК 1A1a-с та 1A3a-е (енергетика та транспорт) [7], +, ■ – для економіки [8],

□ – для енергетики [9], ◇ – для всього викопного палива [10]

55 %. Установка повинна була послужити основою для широкого розвитку комплексного використання бурого вугілля Дніпропетровського басейну України. В цей же час змінилася ситуація з паливним балансом в СРСР. Високі темпи нарощування видобутку нафти і газу в Західному Сибіру визначили ці види палива кращими перед твердим паливом і буре вугілля не змогло конкурувати з ними. Інтерес до переробки бурого вугілля в країні знизився і роботи на установці були призупинені. Отриманий досвід Інституту теплоенергетики (правонаступником якого став ІТТФ НАН України) по енерготехнологічному використанню твердого палива міг би бути використаний для сучасних умов України [14].

На початку 60-х років в СРСР (слідом за США) почалися інтенсивні дослідження з розробки одного з методів отримання електроенергії, а саме - магнітогідродинамічного. Термодинамічний аналіз показував, що теплова електростанція з комбінованим циклом (МГД-генератор як надбудова над паросилових блоком) матиме внутрішній ККД до 55 % (в порівнянні з 35...40 % типової паротурбінної ТЕС). Для цього повинен бути створений МГД-генератор з достатнім для умов енергетики ресурсом роботи. Наукові роботи зі створення МГД-електростанції проводилися в Інституті високих температур АН СРСР (головна організація) та в Інститутах: електродинаміки, проблем матеріалознавства, технічної теплофізики АН УРСР і в інших організаціях.

У 80-х роках роботи по МГД-генераторам в СРСР після випробувань на дослідно-промисловій установці «У-25» і на експериментальній установці «Київ-1» вийшли на промислову апробацію. Було виконано проект і почалося спорудження промислової пікової МГД-електростанції (м. Рязань) потужністю 500 МВт (250 МВт – МГД-генератор і 250 МВт – паровий блок). Мав відбутися непростий етап освоєння нового типу електростанції. Відомі громадсько-політичні події кінця 80-х років перекреслили покладання і надії щодо створення нової технології виробництва електроенергії. Подальші роботи з цієї проблеми були припинені. Політичні реалії, як це часто буває, взяли верх і істотно скоригували історичні прогнози, пов'язані зі створенням нових технологій [15].

Точкою біфуркації в розвитку енергетики світу і регіонів може відбутися і 2020 рік. Як зазначено в [16], внаслідок пандемії Covid-19, відповідного карантину та падіння цін на нафту за перший квартал 2020 року вже скоротився ВВП США, ЄС та КНР. Обвал цін на нафту (марка Brent) з \$66 (початок 2020 року) до \$25 (квітень 2020 року) може внести суттєві корективи щодо прогнозів розвитку енергетики.

На підтвердження цього, і як приклад, 8 червня 2020 р. відбулася презентація Прогнозу-2019 розвитку енергетики світу і Росії, підготовленого ІНЕД РАН спільно з Центром енергетики Московської школи управління Сколково. За два з половиною роки, що минули з попереднього випуску «Прогнозу» [1], стало

Рис. 4. Світове кінцеве використання енергії – кризові явища.

Після кожної кризи енергетика переходить на нову траєкторію росту зі зменшенням темпів росту та зміною структури основних енергоресурсів.

Ліній – – – – – можливі біфуркації, джерело: [17] та доповнення авторів

чітко видно, що під тиском накопиченої критичної маси технологічних інновацій, а також зміни пріоритетів державних енергетичних політик, світова енергетична система увійшла в черговий період фундаментальних змін, рис. 4. В даний час лінійку періодів фундаментальних змін в енергетиці (див. рис. в [1]) можна продовжити як послідовність станів [18]:

1. Світ входить в етап 4-го енергетичного переходу – широке використання ВДЕ і витіснення викопних палив. Однак темпи цих змін і швидкість переходу пов'язані з високою невизначеністю. Швидкий розвиток ВДЕ дозволить до 2040 року забезпечити 19-25% всього енергоспоживання, 35-50% світового виробництва електроенергії. З викопних палив тільки газ зможе наростити свою частку в світовому енергобалансі з 22% до 24...26%. Вугілля знизить свою частку з 28% до 19...23%.

2. Зростання світового енергоспоживання сповільниться до 2040 року, в тому числі внаслідок підвищення енергоефективності використання енергоресурсів.

3. Підвищуються темпи розвитку децентралізованої електрогенерації.

4. Головною альтернативою стає електротранспорт. Розвиток електротранспорту стискає нафтове зростання і дає імпульс на попит електроенергії.

5. Світ увійшов в епоху широкої технологічної та міжпаливної конкуренції. Для всіх сфер споживання з'являється багато перспективних конкуруючих між собою рішень, готових при зростанні цін домінуючого палива оперативно запропонувати альтернативу і відвоювати ринок.

Отже, реалії сучасного світу такі, що прогнозування стратегічних перспектив розвитку енергетики неминуче повинно проходити через точки біфуркації, вихід з яких може міняти сценарії розвитку енергетики (варто тільки згадати стрибкоподібну зміну світових цін на нафту в 2000-2018 роках). Очікувані ключові параметри та показники можуть не збігатися з реалізованими значеннями.

Систематичне прогнозування в енергетиці має історію близько 40 років. Є можливість зіставити за ряд років прогнозні та фактичні значення показників і на основі статистики оцінити якість виконання прогнозів. Проблеми, пов'язані з оцінкою якості прогнозних систем, розглянуті в [19].

Незважаючи на відсутність об'єктивних критеріїв оцінки якості прогностичних інструментів [19, 20], в даний час системне прогнозування енергетики,

як складової частини тріади: енергетика-економіка-екологія, є загальновизнаним і використовується в провідних енергетичних країнах.

При геополітичній турбулентності, при радикальній зміні соціально-економічного устрою в країні, що супроводжується спадом економіки, в тому числі і виробництва в секторах ПЕК, на будь-якому часовому етапі реалізації енергетичної стратегії можуть з'являтися точки біфуркації, в околицях яких малі флуктуації зовнішнього впливу різко посилюються і показники прогнозу до строго тимчасових інтервалів можуть стати мало реалізованими, можуть змінюватися і сценарії розвитку ПЕК. За якими показниками може бути гарний збіг, за іншими – прийнятний, а по ряду показників – значне розходження з прогнозами. Головним стає визначення діапазону значень ключових показників та трендів розвитку енергетики і окремих її галузей.

В ситуації з яскраво вираженою невизначеністю багатьох факторів, поряд з розробленими прогнозами, щоб усунути (зменшити) розбіжність очікуваних прогнозних значень індикативних показників з реальними, доцільно довгостроковий прогноз розвитку енергетики, в залежності від мінливих умов, при явних змінах трендів, появи та загостренні нових викликів і ризиків, коригувати та супроводжувати (відстежувати) оперативними (поточними), "гнучкими планами-прогнозами" (дорожніми картами) на порівняно коротких тимчасових інтервалах (три-п'ять років), на яких, за експертними оцінками, енергетика країни ("об'єкт управління") істотно не зміниться. Супровід енергетичної стратегії відповідними дорожніми картами додає оптимізму в реалізованості такого регуляторного документа. По суті реалізується принцип безперервного прогнозування в міру надходження нової інформації. Енергетична стратегія [21, 22] при цьому стане гнучким документом задля управління енергетикою, не декларацією, а керівництвом до дії. Загальні тренди розвитку енергетики можуть змінюватися при зміні цілей і завдань економіки окремих держав та всього світу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Прогноз развития энергетики мира и России*, 2016 / под ред. А.А. Макарова, Л.М. Григорьева, Т.А. Митровой; ИНЭИ РАН - АЦ при Правительстве РФ. Москва, 2016. - 200 с.
2. IEA. *Global Energy Review 2020*. Global energy and CO₂ emissions in 2020. Flagship report — April 2020. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/global-energy-and-co2-emissions-in-2020#abstract>.

3. *Нова енергетична стратегія України до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність"*, *energetychna_strategiya_do_2035_r.zip*, <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.
4. *Енергетичний баланс України*. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm.
5. *Енергоємність України за 2007 - 2018 роки*. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ekolog/ukr/enem_u.htm.
6. *USDA. ERS* (з покликанням на World Bank, IMF, IHS, Oxford Economic Forecasting) <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-macroeconomic-data-set.aspx>.
7. *VI Національне повідомлення України з питань зміни клімату*. Київ. 2014. 342 с. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/U%206nc_v7_final_\[1\]_0.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/U%206nc_v7_final_[1]_0.pdf).
8. *Support to the Government of Ukraine on Updating its Nationally Determined Contribution (NDC). Report 3 / Modeling Report*. Kyiv. 2020. 137 p.
9. *IEA (2019), CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. 514 p. ISBN PDF 978-92-64-32021-5. <https://webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion-2019>.
10. *Выбросы ископаемого углекислого газа (CO₂) в Украине*. Worldometer. <https://www.worldometers.info/co2-emissions/ukraine-co2-emissions/>.
11. *Пригожин И.* Переоткрытие времени // *Вопросы философии*, 1989. №8. С. 3-19.
12. *Вдовиченко Н.В.* Путь к новой рациональности // *Вестник РАН*. т.87. №6. 2017. — С. 560-568.
13. *Пригожин И.* Философия нестабильности. Вопросы философии. 1991. №6. С. 46-52.
14. *Базеев Е.Т.* Уголь — не только топливо // В кн. «Теплофизики — за энергоэффективность». Институт технической теплофизики НАН Украины; Отв. ред. Долинский А.А. Сост. Шморгун В.В. Киев. 2007. 320 с.
15. *Базеев Е.Т.* МГД-электростанции - надежды и реалии. Институт технической теплофизики НАН Украины; Отв. ред. Долинский А.А. Сост. Шморгун В.В. Киев. 2007. 320 с.
16. *Халатов А.А., Фіалко Н.М., Тимченко М.П.* Енергетична безпека України: методологічні засади оцінки рівня безпеки та порівняльний аналіз поточного стану // *Теплофизика та теплоэнергетика*. 2020. т.42. №2. С. 18-30.
17. *Суходоля О.М.* Енергоємність валового внутрішнього продукту: тенденції та чинники впливу // *ЭСКО*. — 2003. — №7(19). http://esco-ecosys.narod.ru/2003_7/art92.htm.
18. *Прогноз развития энергетики мира и России 2019* / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина; ИНЭИ РАН—Московская школа управления СКОЛКОВО — Москва, 2019. — 210 с. ISBN 978-5-91438-028-8
19. *Аполонский О.Ю., Орлов Ю.Н.* Сравнительный анализ долгосрочных прогнозов развития энергетики. Часть II // *Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша*. 2010. №58. 26 с. URL <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?2010-58>.
20. *Макаров А.А.* Методы и результаты прогнозирования развития энергетики России // *Изв. РАН. Энергетика*. 2010. №4. С. 26-40.
21. *Кириленко О.В., Басок Б.І., Базеев Є.Т., Блінов І.В.* Енергетика України та реалії глобального потепління // *Технічна електродинаміка*. 2020. № 3. — С. 52-61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.052>.
22. *Кулик М.М., Горбулін В.П., Кириленко О.В.* Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали). Київ: Інститут загальної енергетики НАН України. 2017. 78 с.

ENERGY: DEVELOPMENT FORECASTS, BIFURCATION POINTS (OVERVIEW)

Basok B.I., Baseyev Ye.T.

*Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine,
2a, Marii Kapnist str., Kyiv, 03680, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2020.7>

The forecast of the development of energy balances of the world, Europe and Ukraine is presented. It is emphasized that in its development, the energy industry passes through bifurcation points, the exit from which can change the development scenarios up to the termination of work in a number of scientific areas and technologies. The behavior of systems passing along the path of their development of the bifurcation point, detailed research by the Nobel Prize laureate, physicist and chemist I.R. Prigogine.

In its dynamics of development, the energy sector of Ukraine has already passed bifurcation points. Global political changes in the USSR and in the world (the era of "perestroika", the collapse of the USSR and the entire socialist camp) made it impossible to fulfill the main provisions of the USSR Energy Program for the long term and the republican target complex scientific and technical program "Energocomplex", as well as the creation of a new production technology electric power (thermal power plant with combined cycle - MHD generator as a superstructure above the steam power unit).

2020 may also be a bifurcation point in the development of energy in the world and in the regions. Already now, global changes in real GDP and CO₂ emissions clearly correspond to global geopolitical, economic and environmental shocks in the world, including the impending Covid-19 pandemic.

The energy policy of Ukraine (energy strategy) depends on the energy circuits of the new world - on the challenges and risks of a global and local nature. Geopolitical and economic turbulence in the world makes it necessary to promptly monitor and, if necessary, make adjustments to the forecasts for the development of the economies of countries and the world as a whole, including the basic component of the economy - energy.

Suggestions are made for the need to support the energy strategy, including the energy strategy adopted in Ukraine in 2017 for the period up to 2035, by working documents - operational sliding forecast plans (roadmaps) to manage and monitor its implementation at intermediate time intervals, creating perhaps a specialized structure for these purposes.

References 22, figures 4.

Keywords: energy, energy strategy, forecasting, strategy implementation, bifurcation points, management and monitoring, roadmap.

1. *Forecast of energy development in the world and Russia*, 2016 / ed. A.A. Makarov, L.M. Grigoriev, T.A. Mitrova; ERI RAS - AC under the Government of the Russian Federation. Moscow, 2016. - 200 p. (Rus.)

2. *IEA. Global Energy Review 2020*. Global energy and CO₂ emissions in 2020. Flagship report — April 2020. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/global-energy-and-co2-emissions-in-2020#abstract>.

3. *New Energy Strategy of Ukraine until 2035 "Safety, Energy Efficiency, Competitiveness"*, energetychna_strategiya_do_2035_r.zip, <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358> (Ukr.)

4. *Energy balance of Ukraine*. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm (Ukr.)

5. *The energy intensity of Ukraine in 2007 - 2018*. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ekolog/ukr/enem_u.htm (Ukr.)

6. *USDA. ERS* (with a call to World Bank, IMF, IHS, Oxford Economic Forecasting) <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-macroeconomic-data-set.aspx>.

7. *VI National Communication of Ukraine on Climate Change*. Kyiv. 2014. 342 p. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/U%206nc_v7_final_\[1\]_0.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/U%206nc_v7_final_[1]_0.pdf) (Ukr.)

8. *Support to the Government of Ukraine on Updating its Nationally Determined Contribution (NDC)*. Report 3 / Modeling Report. Kyiv. 2020. 137 p.

9. *IEA (2019), CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. 514 p. ISBN PDF 978-92-64-32021-5. <https://webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion-2019>.

10. *Emissions of fossil carbon dioxide (CO₂) in Ukraine*. Worldometer. <https://www.worldometers.info/co2-emissions/ukraine-co2-emissions/> (Rus.)

11. *Prigozhin I.* Reopening of time // *Problems of Philosophy*, 1989. №8. P. 3-19. (Rus.)

12. *Vdovichenko N.V.* The path to new rationality // *Vestnik RAN*. V.87. №6. 2017. — P. 560-568. (Rus.)

13. *Prigozhin I.* The philosophy of instability. *Problems of Philosophy* 1991. №6. P. 46-52. (Rus.)

14. *Baseyev Ye.T.* Coal is not only fuel // In the book. "Thermophysics - for energy efficiency". Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine; Resp. ed. Dolinsky A.A. Comp. Shmorgun V.V. Kiev. 2007. 320 p. (Rus.)

15. *Baseyev Ye.T.* MHD power plants - hopes and realities. Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine; Resp. ed. Dolinsky A.A. Comp. Shmorgun V.V. Kiev. 2007. 320 p. (Rus.)

16. Khalatov A.A., Fialko N.M., Timchenko M.P. Energy security of Ukraine: methodological ambushes of the assessment of the level of security and analytical analysis of the flow mill // Thermophysics and Thermal Power Engineering. 2020. v.42. №2. P. 18-30. (Ukr.)

17. Sukhodolya O.M. Energy intensity of gross domestic product: trends and factors of influence // ESCO. – 2003. – №7(19). http://esco-ecosys.narod.ru/2003_7/art92.htm. (Ukr.)

18. *Forecast of energy development in the world and in Russia 2019* / ed. A.A. Makarov, T.A. Mitrova, V.A. Kulagin; ERI RAS - Moscow School of Management SKOLKOVO - Moscow, 2019. – 210 p. ISBN 978-5-91438-028-8 (Rus.)

19. Apolonskiy O.Yu., Orlov Yu.N. Comparative analysis of long-term forecasts of energy development. Part II // Preprint of the M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics 2010. №58. 26 p. URL <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?=2010-58>. (Rus.)

20. A.A. Makarov Methods and results of forecasting the development of power engineering in Russia // Izv. RAS. Energy. 2010. №4. P. 26-40.

21. Kyrylenko O.V., Basok B.I., Baseyev Ye.T., Blinov I.V. Power Industry of Ukraine and Realities of the Global Warming // Tekhnichna elektrodynamika. 2020. № 3. – P. 52-61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.052>. (Ukr.)

22. Kulyk M.M., Horbulin V.P., Kyrylenko O.V. Conceptual approaches to the development of energy of Ukraine (analytical materials). Kyiv: Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2017. 78 p. (Ukr.)

Отримано 25.09.2020

Received 25.09.2020