

Термодинамиката и икономиката на ресурсите

Юли Радев*

Резюме: Близо 50 години след публикацията Аналитична икономика (1966) на Н. Джорджеску-Ройген продължават дебатите за ролята на термодинамиката и ентропията в икономическата наука. За физиците най-голямото предизвикателство остава зависимостта между термодинамичните закони и човешкия фактор. Докато все повече икономисти се обединяват около становището, че тази теория е подходящ инструмент за микроанализ на природните ресурси, участващи в производството.

Ключови думи: ентропия, закони на термодинамиката, икономически растеж, енергийна криза.

JEL: O10, Q01, Q32, Q50.

Много от спорните въпроси, свързани с термодинамичния подход в икономиката на Джорджеску-Ройген (1966, 1971, 1986), биха намерили грубо обяснение, ако се представят като микроанализ на природните ресурси (О. Уилямсън, 1985, с. 48-50). В тази връзка, теорията на Джорджеску-Ройген се оказва напълно съвместима с теориите на временното равновесие на пазарите на Джон Хикс (1939) и Ж. М. Грандмон (1997) и теориите на непълното договаряне на Гросман и Харт (1986),

Харт и Мур (1988), Холмстрьом и Тирол (1989), Демзец (1997), Й. Барцел (1989) и гр. Нещо повече, тази теория вече е основен инструмент в конструирането на ендогенните модели на икономическия растеж и в комбинация с теорията на знанието на Пол Ромер (1986) представя завършена картина на концепцията на устойчивото развитие на Мегоус и гр. (1972).

Настоящата публикация е обобщаващ коментар на теорията на Джорджеску-Ройген от гледна точка на човека и неговата ограничена рационалност.

Публикацията е организирана в три раздела. Първи раздел представя антропоморфичното значение на законите на термодинамиката. Втори раздел сравнява различните интерпретации на тези закони в икономиката, а трети раздел предлага анализ на настоящата енергийна криза.

1. Антропоморфично значение на законите на термодинамиката

За да дискутираме законите на термодинамиката от гледна точка на човека, е необходимо преди всичко да разграничим енергията в две категории - достъпна и недостъпна. Енергията е достъпна, когато може да се използва, и е недостъпна, когато не може да се използва от хората (Джорджеску-Ройген, с. 3).

Въпреки някои противоречиви технически формулировки, същността на основните термодинамични закони може да се

* Юли Радев е доктор, доцент в катедра "Икономика и управление" на МГУ "Св. Иван Рилски", e-mail: radev@bgc.bg

опише по следния начин: В една изолирана система сумата от енергията остава постоянна (първият закон); като достъпната енергия непрекъснато и необратимо деградира в недостъпна енергия (вторият закон). Ентропията, която е индекс на недостъпната енергия и се представя като съотношение на недостъпната енергия спрямо температурата, нараства, докато цялата достъпна енергия се превърне в недостъпна. Изолираната система е идеализиран модел¹, тъй като не може да обменя нито енергия, нито материя, с външната среда. Това естествено повдига въпроса доколко законите на термодинамиката са съвместими с реалните икономически системи? Всъщност реалните системи са или затворени (които обменят само енергия с външната среда) или отворени (които обменят и енергия и материя с външната среда). Според Джорджеску-Ройген реалните системи често реагират като изолирани системи (1986, с. 4). Последната констатация може да се обясни с факта, че в реалните системи обикновено се отчитат два вида ефекти, вътрешни и външни, като вътрешните ефекти са характерни за изолираните системи, а външните ефекти са отражение на взаимодействията на системата с външната среда. Когато вътрешните ефекти доминират, както често се случва в икономиката², са в сила характерните за изолираните системи закони на термодинамиката, т.е. може да се приеме, че ентропията нараства.

За разлика от повечето природни закони, всички термодинамични закони изразяват някаква невъзможност. Именно този факт позволява термодинамиката да се тълкува

¹ Според Клаузиус (1867) единствената изолирана система е Вселената.

² Типичен пример са двата ефекта върху потреблението на стоките от понижението на цените. Вътрешният и външният ефект, ефектът на дохода и съответно ефектът на заместването, са насочени противоположно, като обикновено доминира вътрешният ефект.

не просто от гледна точка на човека, а от позицията на неговата ограничена природа. Всъщност, основната експериментална характеристика на термодинамиката е, че топлината винаги преминава от по-топло към по-студеното тяло, и никога обратно. Това означава, че в идеалния топлинен двигател (работещ в цикъла на Сади Карно) е невъзможно човекът да получи достъпна енергия, която е преминала от студения охладител (кондензатор) към топлия нагревател. Ето защо и енергията на морските води няма как да се използва за движение на корабите в известния пример на лорд Келвин (Джорджеску-Ройген, 1971, с. 276).

В действителност топлинният двигател може да реши казуса на лорд Келвин, но ако работи само в първата фаза (на изотермично разширение) на цикличния процес. Такъв сценарий предполага механизъм „бутало-цилиндър“ с огромна дължина. Но тъй като ние хората сме ограничени да се придвижваме на малки разстояния, не бихме могли да следваме бутало, което се движи непрекъснато. Това е причината буталото много скоро да се върне на изходна позиция за следващия цикъл.

От физична гледна точка е коректно да се подчертае, че във втория цикъл на топлинния двигател може да се използва само една част от потенциалната енергия в първия цикъл (4/5 според примера на Джорджеску-Ройген, 1986, с. 6). Останалата 1/5 преминава от нагревателя към охладителя. И тъй като последният не може да служи като нагревател на друг охладител, тази енергия вече не е достъпна за човека и не може да се превърне в работа в същата система.

Важният извод от гледна точка на икономиката е, че невъзможността корабът да се движи с енергията на морските води може да се приеме като резултат от ограничената човешка рационалност.

Между другото, до горния извод можем да достигнем и по друг начин. Идеята е, че

ние бихме използвали цялата потенциална енергия (5/5) при условие, че механизмът работи без триене (без загуби). В този случай обаче той трябва да се движи безкрайно бавно и безкрайно дълго във времето. А това е друга антитеза на ограничената човешка рационалност.

Един от най-спорните аспекти в теорията на Джорджеску-Ройген е условието за транзитивност, т.е. „преносимостта“ на изводите, направени за енергията, към материята. Той дори нарича това условие „четвърти закон на термодинамиката“. Търсейки паралел с триенето, Джорджеску-Ройген твърди, че ние можем да рециклираме абсолютно всички материали, стига да разполагаме с неограничена енергия и неограничено време. И тъй като това е невъзможно, материята, подобно на енергията, деградира от достъпна в недостъпна форма.

Трябва да се има предвид, че дори брукселската школа, създадена в средата на миналия век от Иля Пригожин, която представя като проблем на термодинамиката не само затворени, но и отворени системи, разглежда потока от материя като носител на енергия, а не като материя. Важен аргумент срещу условието на Джорджеску-Ройген е и липсата на измерима величина за деградацията на материята. Това се дължи на факта, че за разлика от енергията, различните форми на материята не могат да се редуцират до една единствена форма.

Но дори и без такава величина, презумпцията за необратим разпад на материята има важни икономически последствия. Тъй като очевидно Земята е затворена система, материалите, използвани в настоящите технологии, рано или късно ще бъдат изчерпани (в своята достъпна форма). Може би по-рано отколкото достъпната енергия, получавана от фосилните горива. А това компрометира тезата за устойчиво развитие, предлагана (удобно) като екологично спасение на икономиката и човечеството.

2. Законите на термодинамиката в икономиката – за и против

Известният австрийски физик Е. Шрьодингер (1944) твърди, че живите организми имат нужда не просто от енергия, а от ниска ентропия, която те абсорбират от околната среда и деградират във висока ентропия (отпадъци). Ето защо необходимото условие определен субект или обект да притежава стойност е да има достъп до ниска ентропия. Както ще коментираме по-късно, това необходимо условие не е достатъчно, а отровните гъби са нагледно доказателство за последната констатация.

Основният урок за икономиката на ресурсите е, че законът за ентропията представя икономическата ограниченост много по-отчетливо и в много по-големи размери в сравнение с променящите се механични граници в неокласическата икономика. Тъй като ниската ентропия на енергията и материята може да се използва само веднъж, ограничеността на природните ресурси, използвана в икономиката, е многократно по-голяма от чисто механичната ограниченост. За всеки отделен ресурс тази ограниченост зависи, от една страна, от достъпна до слънчевата енергия, а от друга, от способността на този ресурс да се възстановява под влиянието на слънчевата енергия за относително кратък период от време.

Горните обобщения обаче може да имат и други интерпретации. В основата на т.нар. енергетична икономика например стои идеята, че икономическата стойност на стоките се определя от размера на енергията (нискоентропната енергия), която те притежават. Първите анализи на тази зависимост датират от края на 19-и век, а най-значимият от тях безспорно принадлежи на украинския биолог Сергей Подолински (1883). Той прави връзка между енергията в храната и човешкия труд, като целта му е да замести труда в теорията на стойността на Маркс с енергия

(Мартинез и Наредо, 1982, с. 213). Почти по същото време Г. Хелм твърди, че парите са икономическият аналог на ниската ентропия (1887), докато популярният филантроп Е. Солвей, по подобие на трудовата теория на стойността на Маркс, поставя знак за равенство между икономическата стойност и притежаваната енергия (1902).

Още през 1875 г. Енгелс пише, че опитите за трансформация на квалифицирания труд в килограм-метри и определянето на работната заплата на тази основа, не водят до никъде (прецитат по Джорджеску-Ройген, 1986, с. 9). Фридрих фон Хайек също оспорва всички вариации на социалната енергетика, представяни от Солвей (1952, с. 51). Дори нобеловият лауреат по химия У. Осуалд пише по този повод, че измерването на стойността пропорционално на количеството притежавана свободна енергия е особено голяма грешка (1905, с. 164). Въпреки тези авторитетни критики, ентузиазмът за конструиране на енергетична икономика така и не стихва.

Новата вълна, появила се в средата на 20-и в., отстоява тезата, че само нетната енергия, представляваща разликата между получената енергия и изразходваната енергия за нейното получаване, има значение (Джиланд, 1975). В опита си да опровергае това твърде спорно твърдение, Дейвид Хютнер предлага математическо доказателство на „връзката“ между оптималните цени и енергийното съдържание (Хютнер, 1976). В крайна сметка се получава една еретична математическа постановка, която напълно пренебрегва особеностите на дълготрайните активи (Джорджеску-Ройген, 1973), и която постигна точно обратния ефект на първоначалния замисъл. Тя дава повод за ново търсене на доказателства на равенството „получена енергия = икономическа стойност“. За да защити това равенство, Р. Констанца (1980) за първи път използва линейна input-output система, в която паричната стойност е за-

местена с енергия. Въпреки недостатъците, наследени от модела на Хютнер, трябва да признаем, че този опит на Констанца има и положителни последици. Той постави началото на енергийното input-output моделиране и множеството национални и регионални анализи, някои от тях със значими емпирични резултати (Ханън, 2012, с. 30).

Проблемът на всички модели от енергетичната икономика е, че подобно на физиката, те представят икономическия процес като деградиация на нискоентропна енергия. Крайният резултат от икономическата дейност обаче не е поток от отпадъци, а уникален приток от удоволствие и наслада от живота. Без тази особеност и някои специфични човешки характеристики в аналитичната рамка, ние сме отвъд света на икономиката (Джорджеску-Ройген, 1966, с. 97; 1971, с. 282).

Ако приемем, че енергетичната икономика е едната крайност в икономическото тълкуване на термодинамичните закони, то другата крайност са икономисти, които смятат, че тези закони не могат да бъдат полезни с нищо на икономическата наука. Това обикновено са представители на традиционната неокласическа школа и последователи на моделите на екзогенния икономически растеж. Повлияни от емпиричните анализи, най-вече на Барнет и Морс (1963), тези икономисти вярват, че инвестициите в труд и оборудване ще преодолеят всяка ограниченост на природните ресурси. Такава увереност се създава от разбирането, че основната цел на икономическата политика е единствено и само икономическият растеж. Повишаването на благополучието на всеки човек наистина е благородна цел, но защо тази цел трябва да се приема като основна системна характеристика на икономиката?

След първия ценови шок 1973/74 г. на международните петролни пазари, и особено след множеството дискусии около Ограниченията на растежа (Мегоус и др., 1972),

В поредица от публикации Солоу (1974), Стиглиц (1974), Дасгупта и Хил (1974, 1975) представят неокласическа версия на икономическия растеж в условията на ограниченост на природните ресурси и от гледна точка на възможностите за постигане на постоянно потребление в тези условия. Възщност екзогенният характер на растежа в неокласическите модели е резултат от допускането за пълната рационалност в поведението на икономическите агенти и постулата, че „пазарът винаги знае всичко“.

Както детайлно дискутирахме в Теорията на неравновесието (Pageв, 2011), тези допускания и вниманието върху несигурността, генерирана от икономическите фундаменти, са в основата на първия, т.нар. оптимизационен подход към пазарното неравновесие, който описва икономическия процес като механична система и използва елегантен (но бездушен) математически инструментариум. Вторият микроаналитичен подход към пазарното неравновесие акцентира върху поведенческата несигурност (генерирана от поведението на търговците) и се основава на допусканията за ограничена рационалност в поведението, проявата на транзакционни разходи и склонността на търговците да се договарят. Този подход не притежава универсални математически теореми, но описва важни детайли, които са неуловими за първия подход. Именно в тази рамка представянето на природните ресурси, участващи в производството, като термодинамична трансформация звучи напълно логично.

В действителност, предпочитанията към един от двата подхода зависят от проявите и размерите на поведенческата несигурност. Това, което е недопустимо и което води до противоречиви изводи и решения, е некоректното използване на двата подхода.

Такъв е случаят с опитите да се обясни замърсяването на околната среда (един напълно поведенчески проблем) с характерна-

та за оптимизационния подход концепция за всезнаещия пазар³. Както твърди самият Р. Солоу (1974), пазарът понякога греша. По отношение на природните ресурси, пазарът греша много често. Идеята, че пропуските на пазара следва да се компенсират със социополитически интервенции, доближава неокласиците до неясните претенции на някои екологични икономисти. Предложението на Солоу (1974), вместо количествени ограничения на замърсяването, да се въведат такси, които всеки замърсител да плаща за причиняваните от него щети, предизвика остри възражения, и то най-вече от представители на еколозите. В действителност това предложение е пример за паралогизъм! От една страна, прилагането му би означавало, че всеки собственик трябва да премахне каталитичния конвертор от своя автомобил и да плаща такса „замърсяване“. От друга страна, самото ситуиране на пазари за права на замърсяване се оказва неосъществима задача. Но дори тези пазари да заработят, те само ще дадат възможност на богатите да замърсяват, без каквито и да е ограничения. А това е лоша икономика. Освен ако не приемем, разбира се, че ефектите от неравенството на доходите не са икономически проблем.

Тази ситуация може да се обясни единствено с теорията на Джорджеску-Ройген. За да определим таксата за замърсяване, трябва да знаем цената на възстановяване на замърсяването. Това обаче няма как да се случи, тъй като замърсяването е необратим процес. Вече няколко пъти подчертахме, че не е възможно енергията и материята да се възстановяват напълно, както въпрочем не е възможно да се охладят планетата, която постоянно се нагрява.

³ Разбира се, веднага може да се даде обратен пример, в който оптимизационният подход е по-подходящият инструмент. Например, вечният спор дали рентата на Рикардо (1817) трябва да бъде част от производствените разходи, няма как да има термодинамично обяснение.

Според теорията на Джорджеску-Ройген, нелогично звучи и тезата, че трудът и репродуктивният капитал могат да заместят напълно природните ресурси. Това е така, защото капиталът не може да се възпроизвежда без допълнително предлагане на природни ресурси. В действителност, ако светът можеше да съществува без природни ресурси, тогава наистина „изчерпването би било само събитие, а не катастрофа“ (Солоу, 1974, с. 11).

Основният недостатък на неокласическата теория от микроаналитична и термодинамична гледна точка е допускането за непрекъснат експоненциален растеж. Това допускане спестява дъга много неприятни въпроса. Първият въпрос е съдбата на бедните. Идеята, че растежът е отражение на перспективните характеристики на развитието (в икономическо и военно отношение) страни означава, че съдбата на бедните може да се подобри само когато всички богати станат още по-богати! Другият въпрос, който следва от първия, е съдбата на следващите поколения.

Разбира се, всеки икономист сам избира дали да разглежда социалното неравенство като икономически проблем или не. Все пак никой, поне открито, не е заявявал, че споделя възгледите на идеолога на нацизма Томас Карлайл, например. В същото време пренебрежителното отношение към бъдещите поколения продължава да се демонстрира в различни форми⁴. Авторите на тези възгледи обаче едва ли биха отговорили на въпроса защо по този начин отгледят човешкия вид от останалите? Та нали всички останали видове непрекъснато ни показват колко силно са загрижени за своите поколения.

С включването на анализа на Х. Хотелинг (1931) на разпределението на фиксира-

⁴ Много често се напомня сарказмът на известния американски художник от 18 век Джон Тръмбул: „За бъдещото поколение ще направя същото, което то е направило за мен“.

на наличност от изчерпаеми природни ресурси, неокласическият модел на растежа в известен смисъл отразява икономическата връзка между поколенията. В тази конструкция обаче може да се констатира сериозни противоречия. В модела на Хотелинг, например, траекторията на добива с времето всъщност намалява. Този факт дава повод за нови интерпретации на растежа и самото дисконтиране. В центъра на анализа на Хотелинг е поставен отделният индивид, който, заради своя ограничен времеви хоризонт, дисконтира бъдещето. От гледна точка на обществото обаче или на човечеството като цяло, този подход не е напълно коректен. По-скоро обществото постъпва така, сякаш е вечно. Ако приемем, че това е вярно, то със сигурност няма да дисконтира бъдещето си благополучие. Затова и идеята, че всички поколения трябва да се третират по един и същи начин, изобщо не е лишена от смисъл.

Друг аспект на дисконтирането е положителният лихвен процент, който по принцип отразява желанието за растеж. Растежът обаче може да се приеме и като обективна даденост. Факт е, че през последните двеста години икономическото благополучие на голяма част от света нараства непрекъснато. Факт е, че всяко следващо поколение е подобрявало благосъстоянието си спрямо предишните поколения и ползвайки много по-голямо количество ресурси от тези, които му са били необходими, е увеличавало своето наследство. Това, което ни казва теорията на Джорджеску-Ройген обаче, е, че забележителният икономически растеж през този период се извършва в условията на изключителен (и вероятно неповторим) „минерален разкош“, на който се радва човечеството. И още една важна констатация. Този растеж, особено през десетилетията след Втората световна война, бе насочен твърде високомерно и нелепо в погрешна посока. Илюзията, че евтиният петрол ще се добива вечно, потис-

ка всякакви опити за икономия на енергия. Автомобилната индустрия, главният виновник за това състояние, с гордост представя модели с огромен разход на гориво, специално изработени за тези, които вече си имат всичко останало. А опитите за подобряване на ефективността на добива на въглищата, които са основен източник на енергия за индустрията през този период, съвсем преднамерено се свързват с дългогодишната бедност и мизерията на Апалачия в средата на 20-и век (Мирник, 1982).

Безспорно технологиите са важно средство за постигане на икономически растеж през този период. Те обаче не биха изпълнявали тази роля без споменатия по-горе минерален разкош. А когато на този разкош вече се вижда краят, а съмненията, че технологиите (и тяхната сестра науката) не са панацея за всички проблеми, стават все по-големи, идва времето на микро-аналитичните изследвания на икономическите процеси.

Не само алтернативните анализатори, но и представителите на основното икономическо течение признават аргументите на теорията на Джорджеску-Ройген. След Солоу, и друг водещ неокласик, Пол Самуелсън, макар и в последното издание на забележителната си книга „Икономика“, се позовава на законите на термодинамиката (1980, с. 514).

Очевидно една от основните причини за непрестанния интерес към термодинамиката е категоричността на нейните закони. Както твърди големият британски астрофизик сър Артър Едингтън: „Ако една теория противоречи на втория закон на термодинамиката, тя рано или късно ще попадне в унижително положение“. Алберт Айнщайн също смята, че термодинамиката е единствената физична теория, която никога няма да бъде отхвърлена. С други думи, топлината никога няма да премине спонтанно от студения кондензатор към топлия нагревател (Джорджеску-Ройген, 1986, с. 14).

Последните обобщения ни дават повод да направим специален коментар на постоянно появяващите се прогнози, директиви и стратегии за бъдещето. За да е рационална една програма, която се предлага днес, тя трябва да се основава на сегашните познания, а не на пожелателни футуристични идеи. Тези идеи затова са футуристични, защото са отместени далеч напред във времето. Другият грях на футуристите и фантастите е, че те напълно пренебрегват законите на термодинамиката.

Тъй като в следващия раздел ще дискутираме опитите за преодоляване на енергийната криза, предизвикана от изчерпването на нефта и газа, ще се опитаме да очертаем по-реалистично ролята на технологиите в икономическия процес. Първо, ще напомним, че всяка технология се състои от рецепти. Много от тези рецепти са известни от години и просто „чакат“, за да гадат отговор на всяка възможна ситуация, в това число енергийна криза. В своята история човечеството е създавало толкова рецепти, че едва ли някой би направил опит да ги систематизира. За това би било полезно да се отделят възможните рецепти, такива като печене на хляб, рязане на дърва или полет със самолет, от невъзможните рецепти, какъвто е (все още) контролът върху термоядрения взрив.

Самата технология представлява комбинация от рецепти, между които има причинно-следствена връзка, т.е. тя наподобява дърво на решението. При това, комбинацията от възможни рецепти съвсем не означава работеща технология. Технологията е работеща само когато притежава същите характеристики, както живият организъм. С други думи, когато може да изпълнява своите специфични функции и в същото време поддържа материална си структура (своето тяло).

Освен това, тъй като все още няма такава рецепта, която създава енергия и материя, очевидно всяка работеща техно-

логия трябва да притежава рецепта (или група от рецепти), която да трансформира енергията и материята от външната среда във вид, в който може да се използва от хората за други цели. Имено такава рецепта е необходима, за да реши надвисналата енергийна криза.

3. Енергийната криза и термодинамиката

Макар да изглежда невероятно, но от огромния брой възможни рецепти за материята и енергията, с които се гордее човешката изследователска мисъл, само две изобретения са предизвикали значим технологичен прогрес. Първото изобретение е повече от обикновен феномен – силата на огъня, която древните гърци приписват не на някой простосмъртен, а на Прометей, божественият Титан.

Силата на огъня ни дава повод да представим това необикновено изобретение като „божи дар“. Божествената рецепта, по която е създаден този дар, може да се опише с три основни характеристики: (1) Качествена трансформация на енергия – трансформация на (студени) запалителни материали в калорична сила; (2) Верижна реакция – с една искра можем да запалим цялата гора и дори всички гори; (3) Обществена значимост – огънят дава на хората не само топлина и възможност да си готвят храна, но им позволява да топят и коват метали, да пекаат тухли, керамика и вар⁵.

В последвалата технологична ера, в която гървеният материал е основно гориво, с все по-бързи темпове се появяват нови и нови рецепти. В крайна сметка, това ускорено развитие доведе до прекалено бързо изчерпване на самото гориво на икономическата система. Горите започват да се изсичат с такава скорост, че още през 17-и

⁵ „Дадох им огън....и от него ще научат моите умения.....скритата за човека благодат, медта, желязото, среброто и златото“, Есхил, Прикованият Прометей, с. 500-505.

век в почти цяла Западна Европа се въвеждат ограничителни мерки.

От последния коментар можем да дефинираме четвъртата характеристика на божествената рецепта, която е и нейният най-важен недостатък: (4) Бързото икономическо развитие води до изчерпване на основното гориво. Тази характеристика показва, че енергийната криза всъщност е търсене на друго гориво.

Алтернативният източник на топлина, въглищата, са познати в Европа още от 13-и век, но тяхната употреба се изправя пред две много съществени препятствия. Първото е замърсяването при тяхното изгаряне, а второто е фактът, че въглищните мини по правило са наводнени от подпочвените води. В някои мини тези води са били повече от количеството на извлеканите запаси от въглища⁶.

Непосредственият проблем на енергийната криза, предизвикана от изчерпването на горивото, е как да се получи повече енергия от наличната в съответния период от време. Решението на енергийната криза от 16-и и 17-и век е втората божествена рецепта, която обаче човечеството дължи не на някое божество или титани на науката, каквито през 16-и и 17-и век несъмнено са били Галилео Галилей и Кристиан Хюйгенс, а на простосмъртните и неакадемични изобретатели на топлинната машина Томас Сейвъри и Томас Ньюкомен. Топлинната машина притежава всички характеристики на божествената рецепта. Първо, тя извършва качествена трансформация на топлина в движение. Второ, топлинната машина също предизвиква верижна реакция. С малко въглища с тази машина се добиват много повече въглища, както и други руди, с които се правят нови машини и така се предизвиква причинно-следствено развитие. И трето,

⁶ За да се реши този проблем, в мините са отглеждани стотици коне, които са движили колесната система, използвана за отводняване на рудниците. Между другото, от тук произхожда единицата „конска сила“.

топлинната машина дава възможност на хората да получат енергия от много по-разпространен и мощен източник, а именно минералните горива. Технологията, създадена по тази рецепта, е работеща до днес.

Втората божествена рецепта предизвика ново ускорено технологично развитие, което също доведе до бързо изчерпване на собственото гориво. Изчерпване, което сега ни изправя пред нова енергийна криза.

Описаният сценарий с изчерпването на основното гориво не може да има логично обяснение без законите на термодинамиката. В действителност този сценарий нагледно показва разликата между термодинамичното и обикновеното механично изчерпване. Термодинамичният микроанализ ни дава възможност обаче да направим и друг, по-важен извод. Енергийната криза може да се разреши без особени последици за обществото, само ако на време се изобрети нова божествена рецепта. С обикновена възможна рецепта това няма как да се случи.

Най-нагледното доказателство на този извод са широко обсъжданите соларни технологии. Въпреки че съществуват множество възможни рецепти за директно ползване на слънчевата енергия, нито една от тях не изпълнява изискванията за божествена рецепта. Имайки предвид, че по-голямата част от слънчевите колектори не могат да се възпроизвеждат с енергията, която генерират, те не отговарят дори на минималните изисквания за такава рецепта. Затова и големият шум около възможността енергийната криза да се разреши с „евтина и възобновима“ слънчева енергия не почива на никакви сериозни основания⁷.

⁷ Преди няколко години в пресата широко се рекламираше корпорацията Соларекс, конструирала соларен бридър (размножител), който произвежда фотоволтаични клетки, без никакъв външен енергиен ресурс. Така или иначе, този соларен бридър не беше пуснат в действие, а и не отговаря на изискванията за „божествена рецепта“. Както заявяват от Соларекс, „бридърът“ не би могъл да функционира, без да по-

Основната причина за това е изключително слабото лъчение на слънчевата енергия, достигащо до земната повърхност⁸. В крайна сметка се извършва голям разход на материя за генерирането на малко полезно количество слънчева енергия. С други думи, стойността на генерираната енергия е по-ниска от стойността на деградираната материя⁹. Нито соларните бридъри, или топлоцентралите, нито дори домашните соларни системи могат да генерират енергия, която да компенсира четвъртия закон на термодинамиката.

Вярно е, че във фотоволтаичните клетки няма никакво движение, затова триенето не представлява никакъв проблем. Проблем обаче са структурните модификации, дължащи се на всякакви възможни видове неизбежни радиации. Изводът е, че въпреки огромния ентузиазъм, най-вероятно соларните енергийни системи ще излязат от употреба много по-скоро от конвенционалните. Между другото, историята вече помни подобна развръзка с модата (преди повече от сто години) на слънчевите нагреватели на вода.

Безспорно е, че директната слънчева енергия има своите уникални предимства, които я правят незаменима, особено в случаите, в които другите енергийни източници са неприложими (например в космическите кораби) или са прекалено скъпи (например в изолираните обсерватории). Но ако все повече хора използват соларни енергийни системи в своите домове, то причините за това са по-скоро финансови, дължащи се на инфлацията и перспективата за повишава-

лучава производствени материали и оборудване от външната среда.

⁸ Патентът на Петер Гласер за събирането на слънчевата енергия от сателит и изпращането ѝ до земната повърхност като микровълни се оказа невъзможна рецепта.

⁹ За илюстрация можем да си представим една соларна топлоцентрала, чиито нагревател е поставен на 75 метрова кула и получава отразените лъчи от 1818 хелиостата, всеки с четиридесет квадратни метра площ.

не на цените на традиционните горива в бъдеще. Затова и слънчевата енергия остава „паразит“ спрямо основните енергийни източници, така както електричеството е и винаги ще бъде (Джорджеску-Ройген, 1979).

Обзорът на сегашните технологии показва, че ядрената енергия в най-голяма степен се доближава до техническото решение на енергийната криза¹⁰. Все пак, обикновените ядрени реактори не могат да отговорят на изискванията за божествена рецепта, тъй като просто заместват фосилните горива като източник на топлина. Брийдър реакторът обаче има много общо с тази рецепта. Той извършва качествена трансформация на наличния в големи количества ядрен материал в дялящо ядрено гориво. Освен това по подобие на топлинната машина извършва верижна реакция, произвеждайки повече гориво, отколкото консумира. Третата характеристика на божествената рецепта, голямата полза за човечеството, обаче не е изпълнена. Функционирането на каквито и да е ядрени реактори все още застрашава сигурността на всички живи същества на планетата¹¹.

Разбира се, тази ситуация може да се промени всеки един ден. Имайки предвид, всички въпроси, свързани с ядрените реактори, както и сложността на целия проблем, единствената адекватна стратегия (терминът рационална ще запазим за икономическото направление, използващо оптимизационните методи от математиката) е да се икономизират възможно най-много фосилните горива. Така ще си дадем повече време за намиране на приемлива и сигурна божествена рецепта. Алтернативата, преходът от настоящите топлинни към студени технологии не би могъл да се извърши без негативните последици, харак-

¹⁰ Геотермалната и вятърната енергия, както и енергията от приливо-отливните вълни, са функционални само в определени географски условия.

¹¹ Старата надежда за неизбежния успех в контрола на термоядрената енергия за съжаление си остава само надежда.

терни за всяка бърза промяна. Призивите за решение на енергийната криза чрез реконструкция на настоящите бюрократични институции са твърде неуместни и могат само да отклонят вниманието от истинския проблем. От биоикономическа гледна точка по-скоро може да се препоръчат нови правила за живеене, които забраняват не просто войните, а производството на всякакъв вид оръжие. Така ще се освободи енергия и материя, с която бедните и неразвити страни ще достигнат някакъв човешки стандарт. Хората от богатите страни просто трябва да се откажат от влечението си към някои безсмислени вещи, като споменатите по-горе автомобили.

Последните разсъждения очертават един друг, много по-сериозен проблем пред човечеството. Икономията или консервирането (както често се нарича) на енергия не е задача само на една страна или дори общност от няколко страни. Тази цел изисква сътрудничеството на всички страни, в което обаче малко хора вярват. А това означава, че освен енергийна, има и друга по-страшна криза, криза в общуването.

Цитирани източници:

- Barnett, H. and C. Morse, 1963. *Scarcity and Growth*. Washington, D.C.: Resources for the Future.
- Clausius, R., 1867. *The Mechanical Theory of Heat – with its Applications to the Steam Engine and to Physical Properties of Bodies*. London: John van Voorst. Retrieved 19 June 2012.
- Costanza, R., 1980. “Embodied Energy and Economic Valuation”. *Science* 210: 1219–1224.
- Davis, H. J., 1941. *The Theory of Econometrics*. Bloomington, IN: Indiana University Press.
- Engels, F., 1954. *Dialectics of Nature*. Progress Publishers.
- Foley, D. K., 1994. A Statistical Equilibrium Theory of Markets. *Journal of Economic Theory*, 62, 321–345.

- Georgescu-Roegen, N., 1966. *Analytical Economics: Issues and Problems*. Harvard University Press.
- Georgescu-Roegen, N., 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge: Harvard University Press.
- Georgescu-Roegen, N., 1976. *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays*. New York: Pergamon Press.
- Georgescu-Roegen, N., 1979. "Energy Analysis and Economic Valuation". *Southern Economic Journal*, Vol. 45, No. 4, 1023-1058.
- Georgescu-Roegen, N., 1986. "The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect", *Eastern Economic Journal*, vol. 12, issue 1, 3-25.
- Gilliland, M. W., 1975. "Energy Analysis and Public Policy," *Science*, vol. 189, p. 1051-1056.
- Glaser, P., 1968. "Power from the Sun: Its Future". *Science*, 162:856-861.
- Hannon, B., 2010. *The Role of Input-Output Analysis of Energy and Ecologic Systems*, Ann. N.Y. Acad. Sci., Issue: Ecological Economics Reviews, pp. 30-38.
- Hayek, F. A., 1952. *The Counter-Revolution of Science: Studies on the Abuse of Reason*. Glencoe: The Free Press.
- Helm, G. F., 1887. *Die Lehre von der Energie*, Leipzig: Felix.
- Hotelling, H., 1931. "The Economics of Exhaustible Resources". *Journal of Political Economy* 39: 137-175.
- Huettner, David A., 1976. "Net Energy Analysis: An Economic Assessment." *Science*, 192: 101-104.
- Kuznets, S., 1955. *Economic Growth and Income Inequality*. *American Economic Review*, 45, 1-28.
- Lisman, J. H. C., 1949. *Econometrics and Thermodynamics: A Remark on Davis's Theory of Budgets*. *Econometrica*, 17, 59-62.
- Mantegna, R. N. & H. E. Stanley, 2000. *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Martínez-Alier, J., and J. M. Naredo, 1982. "A Marxist Precursor of Ecological Economics: Podolinsky", *Journal of Peasant Studies*, 9, 2: 207-24.
- McCauley, J. L., 2004. *Dynamics of Markets: Econophysics and Finance*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- McCauley, J. L., 2006. "Response to 'Worrying Trends in Econophysics'". *Physica A*, 371, 601-609.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens III., 1972. *The Limits to Growth: A Report for The Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.
- Miernyk, W. H., 1976. "The Regional Economic Consequences of High Energy Prices". *Journal of Energy and Development* 1,2: 213-239.
- Miernyk, W. H., 1982. *The Illusions of Conventional Economics*. Morgantown: West Virginia University Press.
- Ostwald, W., 1908. *Die Energie*. Leipzig: Verlag von Johann Ambrosius Barth.
- Samuelson, P., 1980. *Economics*, New York: McGraw-Hill. (1948).
- Schrödinger, E., 1944. *What is Life?*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Solow, R., 1973. "Is the End of the World at Hand?", *Challenge*, 39-50.
- Solow, R., 1974. "The Economics of Resources or the Resources of Economics". *The American Economic Review* (American Economic Association) 64 (2): 1-14.
- Solvay, E., 1902. *Note sur des formules d'introduction à l'énergétique, Physio- et psychosociologique*, Bruxelles: H. Lamertin.
- Stehle, J. F., 1983. "The Economics of Entropy", *Review of Social Economy*, 40: 179-182.
- Walker, D. A., 2006. *Walrasian Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Williamson, O., 1985. *The Economic Institutions of Capitalism - Firms, Market, Relational Contracting*, New York: Free Press.
- Wilson, A. G., 1970. *Entropy in Urban and Regional Modeling*. London: Pion.
- Winiarski, L., 1900. *Essai sur la mécanique sociale: L'énergie sociale et ses mensurations*, II. *Revue Philosophique*, 49, 265-287.