International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

ПАРАДОКСЪТ НА ИИ В ЕНЕРГИЙНИЯ СЕКТОР: БАЛАНСИРАНЕ МЕЖДУ ТЕХНОЛОГИЧНИЯ НАПРЕДЪК И ЕКОЛОГИЧНИТЕ РАЗХОДИ

Ралена Куткарска

Технически университет - Габрово, ул. „Хаджи Димитър“ № 4, Габрово, България, email: r.dimitrova@tugab.bg

THE AI PARADOX IN THE ENERGY SECTOR: BALANCING TECHNOLOGICAL PROGRESS AND ENVIRONMENTAL COSTS

Ralena Kutkarska

Technical University of Gabrovo, 4 Hadzhi Dimitar Str., Gabrovo, Bulgaria, email: r.dimitrova@tugab.bg

Abstract

The exponential development of artificial intelligence (AI) over the past few years has given rise to a global phenomenon. However, the rapid and widespread implementation of this innovative technology in the energy sector creates a paradox, examined in this article as the "AI paradox in the energy sector". This paradox manifests as a clash between massive capital, energy, and environmental costs on the one hand, and delayed returns against a backdrop of significant, yet partial and unequally accessible societal benefits, on the other.

This article explores the intersection of economic efficiency, carbon footprint, and the social impact of the technology within the energy sector. The infrastructural requirements of AI exert systemic pressure on the global energy grid. Despite all these risks, artificially restricting the development of AI would mean abandoning one of the most powerful tools humanity has ever created. Inherently, AI should possess the capacity to solve the very same problems that it is currently exacerbating.

Keywords: artificial intelligence; energy sector; technological progress; environmental costs; ecology; digital transformation.

ВЪВЕДЕНИЕ

През последното десетилетие изкуственият интелект (ИИ) и в частност големите езикови модели, отбелязаха висок технологичен прогрес, превръщайки се в един от основните компоненти от глобалната икономика. Бързото навлизане на ИИ обещава оптимизация на продуктивността, научните открития и индустриалните процеси, но с този преход възникна фундаментално несъответствие между дигиталните амбиции и физическите ограничения на околната среда. Оформя се т.нар. „Парадокс на ИИ в енергийния сектор“ – състояние, при което технологията обещава експоненциален скок в производителността, но на практика изисква все по-големи разходи под формата на капитал, енергия и природни ресурси, без гаранция за кратковременна възвращаемост. От една страна са вложените ресурси и високата цена – експоненциално нарастващите капиталови инвестиции (CapEx), които през 2026 г. се очаква да надхвърлят 1 трилион долара глобално [1], както и тежкия въглероден отпечатък върху околната среда. От друга страна са все още ниските резултати – трудно измеримата възвращаемост на инвестиции (ROI) в ИИ, забавения растеж на

производителността му и частичните и неравно достъпни обществени ползи, съчетани с риска от нарастващо неравенство в доходите [2,3]. Технологичните гиганти влагат стотици милиарди в ИИ инфраструктура, водени от страха от технологично изоставане. Повечето бизнес проекти обаче остават експериментални поради високите си оперативни разходи и ограничена приложимост на този етап [3].

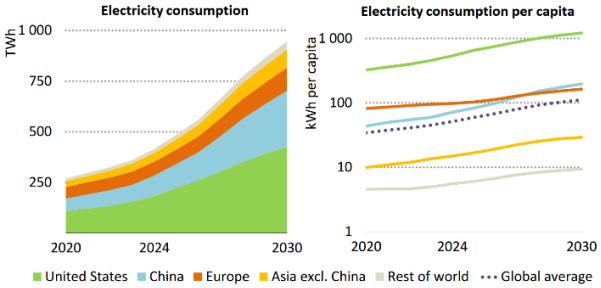
Обучението и инференцията на тези модели генерират екстремно натоварване върху глобалните енергийни мрежи, влизайки в директен конфликт с целите за въглеродна неутралност, заложени в Европейския закон за климата [4]. Въпреки тези разходи, технологията предлага неоспорим иновационен прогрес в ключови сфери като разработката на софтуер, здравеопазването, научните изследвания и образованието [5].

Успоредно с това, индустриализацията на ИИ предизвиква скрита, но значителна екологична криза. Обучението на големи езикови модели и ежедневното обработване на милиарди потребителски заявки изискват енергия и водни ресурси в мащаби, които пряко застрашават ангажиментите за въглероден неутралитет [6].

Настоящата статия си поставя за цел да разгледа някои от глобалните проявления на този парадокс, анализирайки критичния баланс между икономическата реалност, физическите граници на околната среда и технологичния напредък на обществото.

РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ЦЕНТРОВЕТЕ ЗА ДАННИ И ЕНЕРГИЕН ТОВАР

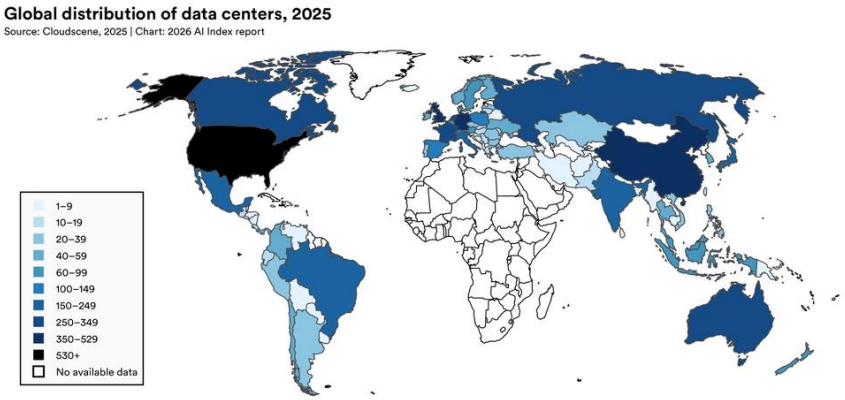
Според доклад на Международната агенция по енергетика IEA, през 2024 г. центровете за данни са отчели около 1,5% от световното потребление на електроенергия, което се равнява на 415 TWh. Като най-голям дял от глобалното потребление на електроенергия от центровете за данни е имала САЩ (45%), следвана от Китай (25%) и Европа (15%). Глобалните инвестиции в центрове за данни почти са се удвоили от 2022 г. насам и през 2024 г. са достигнали половин трилион долара. Очаква се потреблението на електроенергия в центровете за данни да нарасне повече от два пъти и да достигне около 945 TWh до 2030 г. в базовия сценарий, което ще представлява около 3% от глобалното потребление на електроенергия към тази година [7]. Базовият сценарий, показан на фиг. 1, разглежда динамиката на потреблението на електроенергия в центровете за данни при настоящите регулаторни условия и прогнозите на сектора.



***Фиг. 1** Консумация на електроенергия в центровете за данни и консумация на електроенергия в центровете за данни на глава от населението по региони съгласно базовия сценарий, 2020–2030 г.*

Тази статистика разкрива сериозна геополитическа и инфраструктурна асиметрия – докато в САЩ и Китай е концентрирано около 70% от общото енергийно потребление на тези центрове, то Европа изостава, с едва 15%. Зависимостта на Европа от външни технологични екосистеми и отслабената стратегическа автономност не само застрашават глобалните цели на Зеления преход, но и доказват, че фундаменталният контрол върху ИИ и неговите икономически дивиденти остават концентрирани в ограничен брой икономики.

САЩ са лидер в изграждането на ИИ инфраструктура с общо 5427 центъра за данни, което надхвърля близо десетократно броя им във всяка отделна държава [5], консумиращи повече енергия от всеки друг регион, фиг. 2.



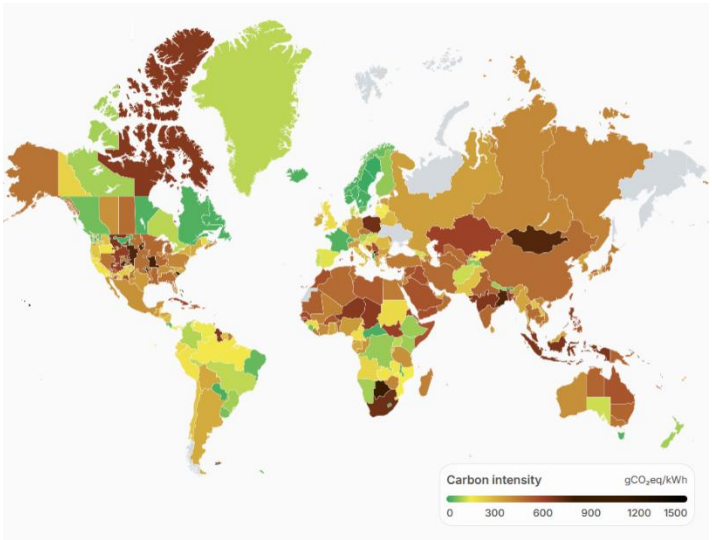
Фиг. 2 *Глобално разпределение на центровете за данни към 2025 г. [5]*

ВЪГЛЕРОДЕН ИНТЕНЗИТЕТ ПРИ ПРОИЗВОДСТВОТО НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ

Потреблението на електроенергия от центровете за данни към 2025 г. е 485 TWh годишно [4]. Това натоварване застрашава стабилността на енергийните мрежи дори в силно развити региони като САЩ и Западна Европа, принуждавайки държавите по света да отлагат затварянето на въглеродно-интензивни електроцентрали.

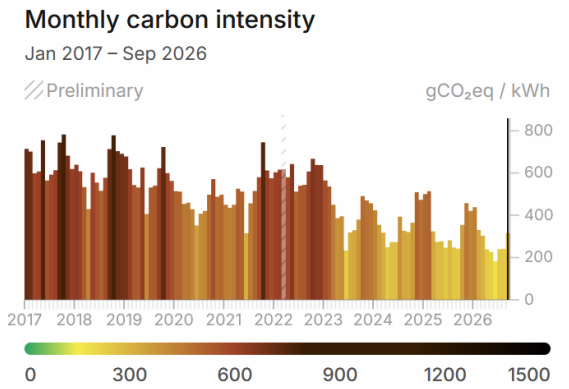
Разполагането на енергоемки ИИ инфраструктури поставя въпросът не само за обема на консумирана енергия, а за нейния въглероден произход. Както е видно от фиг. 3 на Electricity Maps [8], основните световни центрове за развитие на ИИ в Северна Америка, Източна Азия и част от Югоизточна Европа продължават да функционират в енергийни системи със среден до висок въглероден отпечатък (между 300 и над 800 gCO_2eq/kWh). Това предполага, че в глобален мащаб разширяването на изчислителната мощ за ИИ все още е разположен върху въглеродно интензивен микс.

На този световен фон, профилът на България за периода 2017–2025 г. показва отчетлива вътрешна динамика, фиг. 4 и фиг. 5. Общите годишни въглеродни емисии от електропроизводството спадат над два пъти – от нива около 32,2 Mt CO_2eq през 2017 г. до 14,5 Mt CO_2eq към 2025 г. [8]. Данните за структурата на емисиите показват, че този позитивен спад е резултат главно от редуцирането на въглищната генерация, при запазване на

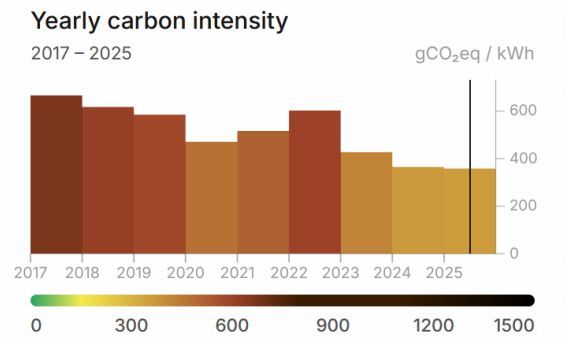


Фиг. 3 *Глобална въглеродна интензивност при производството на електроенергия през 2025 г. [8]*

стабилния базов дял на ядрената енергия и нарастващ принос на ВЕИ мощностите (вятърна и соларна енергия).



Фиг. 4 *Месечна въглеродна интензивност* при производството на електроенергия *в България за периода Януари 2017 до Септември 2026 г. [8]*



Фиг. 5 *Годишна въглеродна интензивност* при производството на електроенергия *в България за периода 2017 до 2025 г. [8]*

Въпреки че енергийната мрежа на България постига значителна декарбонизация, нейният базов капацитет все още е в процес на системна трансформация. Включването на мащабни ИИ центрове за данни, чийто режим на работа изисква непрекъснато захранване по време на фазите на обучение и инференция, създава риск от претоварване на преносната мрежа или забавяне на зеления преход, докато възобновяемите източници и съоръженията за съхранение на енергия не постигнат пълна балансираща способност.

ВЪГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТЪК НА ИИ

При хипотетичен мащаб от 10 милиарда заявки дневно, което надхвърля четири пъти обема на заявките на ChatGPT (на компанията OpenAI) към средата на 2025 г. [9] и съизмерим с всички интернет търсения – потребените 3,6 TWh годишно представляват под 1% от енергията на центровете за данни. Тоест, може да бъде предположено, че системният енергиен и екологичен натиск не произтича от пряката употреба от крайните потребители, а от капиталовата надпревара за изграждане на изчислителна инфраструктура и предварително обучение на базовите модели [4].

Изследователи описват нетния въглероден отпечатък на ИИ като „нож с две остриета“ [10], при което експоненциалният ръст на енергийното потребление за изчислителни операции се съпоставя с дългосрочната декарбонизация на операциите в различни сектори. Тази характеристика точно описва настоящия етап на развитие на ИИ, като отчита както предимствата, така и недостатъците ѝ.

Екологичният отпечатък на ИИ може да бъде разделен на интензивните начални разходи за обучение и на кумулативните, непрекъснати разходи за извличане на заключения (инференция). Процесът на обучение на моделите може да консумира общо стотици MWh, в зависимост от размера на модела и набора от данни, както и от оптимизацията на инфраструктурата. Например, енергийното потребление за обучение на OpenAI GPT-4 е било около 42,4 GWh, или около 0,43 GWh на ден обучение [7]. Въпреки това, бурният ръст на публичното приемане на генеративни ИИ приложения насочва вниманието и към екологичния отпечатък от извличането на заключения и обслужването на ИИ моделите. В мащабни производствени среди средната енергия на текстова заявка (например Gemini на компанията Google) е установена на 0,24 Wh

[11]. Според [12] екологичният отпечатък от извличането на заключения също е огромен и може дори да бъде няколко пъти по-висок от този на процеса на обучение.

Енергопотреблението зависи в голяма степен от ефективността на енергопотреблението (PUE). Оперативните показатели за ефективност на енергопотреблението (PUE) и ефективност на водопотреблението (WUE) са силно зависими от климатичните условия.

Средната месечна стойност на WUE може да варира от <1,0 l/kWh в хладните климатични зони до 9,0 l/kWh в по-топлите региони [12].

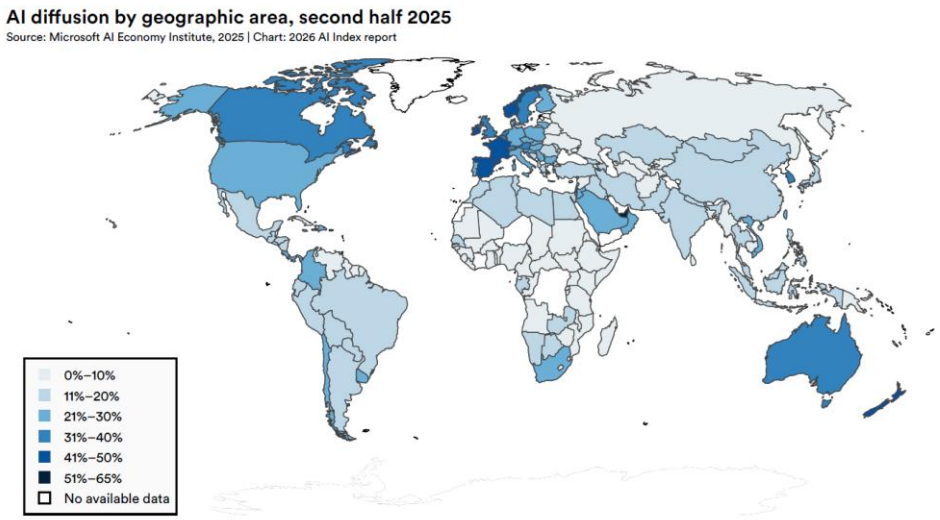
Проучване, озаглавено „Въглеродният и водният отпечатък на центровете за данни и какво би могло това да означава за изкуствения интелект“ [13], установи, че само въглеродният отпечатък на системите за изкуствен интелект може да достигне 32,6–79,7 милиона тона емисии на CO_2 до 2025 г., докато водният отпечатък може да възлезе на 312,5–764,6 милиарда литра. Тези стойности са сравними с въглеродния отпечатък на град Ню Йорк, който през 2023 г. е излъчил 52,2 милиона тона CO_2. По същия начин водният отпечатък на системите за ИИ може да бъде сходен с глобалното годишно потребление на бутилирана вода (446 милиарда литра).

Големите модели за изкуствен интелект носят свои собствени разходи по отношение на изчислителната и енергийната интензивност [14]. От друга страна, по-леките архитектури на моделите позволяват внедряване на периферията в отдалечени съоръжения, като се заобикалят енергоемките облачни сървъри [15]. Тази близост до събирането на данни минимизира латентността и зависимостта от мрежи с висока пропускателна способност [16].

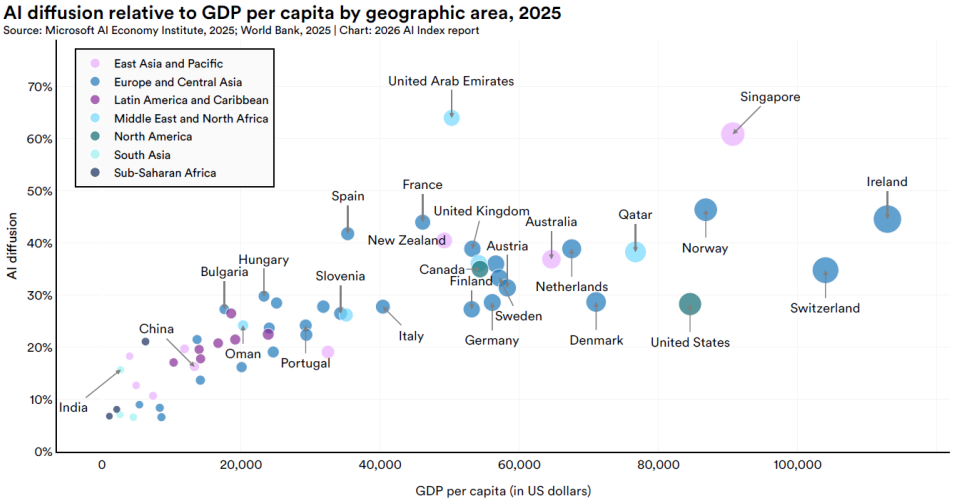
Нетното въздействие на ИИ върху климата може да бъде количествено измерено чрез нови технологични рамки като „Net Climate Impact Score“ (NCIS), която отчита както разходите, така и ползите от ИИ [17]. Изследванията показват, че макар иновациите, задвижвани от ИИ, да постигат намаление на емисиите с 15–30% в енергетиката, транспорта и производството [18], „ефектът на отскока“ (парадоксът на Джевънс) въвежда значителна несигурност [17,19]. Разширяването на центровете за данни в краткосрочен план би могло да доведе до увеличение на общите емисии на CO_2 до 2030 г. Очаква се обаче дългосрочният потенциал на ИИ за автоматизиране и оптимизиране на процесите да надделее над този първоначален „скок в емисиите“ [20].

ТЕХНОЛОГИЧЕН НАПРЕДЪК И ДОСТЪПНОСТ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ С ИИ

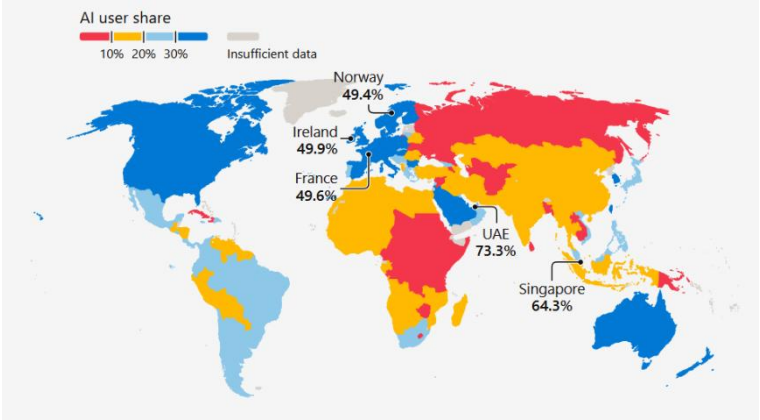
От фиг. 6 и фиг. 7 може да се види, че равнището на внедряване на ИИ варира значително и показва силна, статистически значима положителна корелация с БВП на глава от населението [5]. Повечето страни с високи доходи се намират в диапазона между 25 % и 45 % внедряване, като средните стойности за Европа и Северна Америка достигат съответно около 27 % и 22 %. По-ниско използване се отчита в Южна Азия и Субсахарска Африка, където БВП на глава от населението също е по-нисък. Въпреки това има изключения от връзката между БВП и степента на внедряване на ИИ. Обединените арабски емирства и Сингапур отчитат нива на внедряване съответно над 64% и 61%, което е значително над нивата, които биха могли да се предвидят въз основа на техния БВП на глава от населението. Някои от страните със силни икономики, като Съединените щати и Дания, остават под тази тенденция.



Фигура 6 *Разпространение на ИИ по географски райони, втора половина на 2025 г. [5]*



Фиг. 7 *Разпространение на ИИ спрямо БВП на глава от населението по географски райони, 2025 г. [5]*



Фиг. 8 *Глобално разпространение на ИИ по икономически сектори към юни 2026 г. [21,22]*

-

Актуално проучване на Microsoft за разпространението на ИИ през второто тримесечие на 2026 г., обхваща 147 икономики и 19 специализирани платформи и приложения с ИИ [21,22].

Разпространението на генеративния изкуствен интелект на фиг. 8 и фиг. 9, разкрива разделение между Глобалния север и Глобалния юг. Докато в Глобалния север делът на населението, използващо генеративен ИИ, достига 28,8% (ръст от 1,3% спрямо първата половина на 2026 г.), в Глобалния юг той възлиза на едва 16,2% (при ръст от 0,8%). Тази разлика отразява дълбоки структурни дефицити в Глобалния юг, свързани с по-ограничения достъп до електричество (88,9% спрямо 98,1% в Севера), интернет свързаност (65,7% спрямо 90,1%) и ниво на дигитални умения (48,2% спрямо 70,1%). Без преодоляването на тези прагове, обществените и икономическите ползи от технологията на изкуствения интелект ще останат силно неравномерно разпределени в глобален мащаб.



Фиг. 9 *Задълбочаващата се разлика между Глобалния Север и Глобалния Юг.* [21,22]

Данните за дела на трудоспособното население (възрастова група 15–64 г.), използващо генеративен ИИ в България от актуалния набор от данни на Microsoft на база на същото проучване в уеб базираната услуга за съхранение на софтуерни проекти GitHub [23] са както следва:

- Първо полугодие на 2025: 25,4%;
- Второ полугодие на 2025: 27,3%;
- Първо тримесечие на 2026: 29,7%;
- Второ тримесечие на 2026: 30,7% .

С постигнатите 30,7% през втората половина на 2026 г., България не само надхвърля средната стойност за Глобалния север (която за същия период е 28,8%), но и се нарежда пред редица развити европейски икономики (като например Финландия с 30,6%). Това я поставя сред водещите държави в региона по отношение на софтуерното усвояване на технологията на индивидуално ниво.

Въпреки съществуващите структурни разлики в макроикономически план спрямо по-развитите държави, индивидуалното потребителско търсене, дигиталната компетентност и интеграцията на ИИ инструменти в ежедневието и работните процеси в България показват изключително висока степен на гъвкавост и бързо адаптиране към технологичните тенденции.

Третото годишно проучване на Ipsos по поръчка на компанията Google е проведено в периода 22 септември – 10 октомври 2025 г. в 21 държави [24]. За целите на проучването около 21000 души на възраст над 18 години са били интервюирани онлайн в 21 държави. Проучването е относно опита и бъдещите очаквания, свързани с ИИ.

Двама от всеки трима посочват, че са използвали инструмент или приложение с изкуствен интелект през последните [21] дванадесет месеца (средно 66% във всички 21 държави), което е с 18% повече в сравнение с 2024 г. и с 28% повече в сравнение с 2023 г.

Мненията на анкетираните са симетрично разделени (50% на 50%) между виждането, че използването на ИИ на работното място ще създаде нови работни места и ще помогне на служителите, и опасението, че то ще съкрати работни места и ще им навреди.

По-голямата част от респондентите предпочитат насърчаването на научния напредък чрез иновации в областта на ИИ (58%) пред защитата на индустрии, които могат да бъдат засегнати от регулирането на ИИ (41%).

Повечето от анкетираните споделят, че са ентусиазирани от използването на ИИ като лични наставници, за киберсигур-

ност, за медицинска диагностика, като подкрепа за малките предприятия и стартиращите фирми, както и за откриването и разработването на лекарства, сред другите приложения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

„Парадоксът на изкуствения интелект в енергийния сектор“ не е индикация за технологично или функционално ограничение, а доказателство за незрялост в етапа на масова употреба. Данните показват, че очакванията за безкраен линеен икономически растеж не съответстват на физическите лимити на околната среда и организационния капацитет на компаниите по света. За да се постигне устойчив баланс, е необходима промяна в процеса на развитието и внедряването на ИИ:

- Изграждането на нови ИИ центрове за данни трябва да бъде обвързано със стратегически планирани регулации за използване на локални системи за съхранение на енергия и динамично изместване на изчислителните натоварвания към часовете с пиково производство на възобновяема енергия.
- Глобалните пазари трябва да изместят фокуса си от очаквания за бърза финансова възвращаемост към създаването на дългосрочна стойност.
- Успехът на ИИ трябва да се измерва не само със съкращаване на човекочасовете, но и чрез приноса му за решаване на съществуващите проблеми.
- Дългосрочната устойчивост на ИИ изисква преминаване от изолирани технологични оценки към цялостен системен подход. Бъдещото развитие на сектора зависи от синхронизирането между енергийната политика, иновациите за енергийна ефективност и целенасочените инвестиции в инфраструктура. Само чрез подобни координирани усилия технологичният напредък може да бъде съгласуван с глобалните климатични цели, така че да не задълбочава съществуващите проблеми, а да донесе справедливо разпределени обществени ползи.

ИИ има потенциала да бъде една от най-трансформиращите технологии на 21-ви век. Този потенциал обаче ще бъде реализиран само ако технологичния напредък се управлява чрез правилно стратегическо планиране, взимащо под внимание както икономическите ограничения, така и екологичните и социалните граници.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Goldman Sachs. Global AI Investment Is Forecast to Exceed $1 Trillion in 2026 2026. https://www.goldmansachs.com/insights/articles/global-investment-is-forecast-to-exceed-1-trillion-in-2026 (accessed October 5, 2026).

[2] Brynjolfsson E, Unger G. THE MACROECONOMICS OF Illustration by Jun Cen 2023. https://www.imf.org/-/media/files/publications/fandd/article/2023/december/20-25-brynjolfsson-final.pdf (accessed October 4, 2026).

[3] Goldman Sachs. GEN AI: TOO MUCH SPEND, TOO LITTLE BENEFIT? 2024.

[4] IEA. Key Questions on Energy and AI 2026. https://iea.blob.core.windows.net/assets/3179f7f8-01f6-4dd6-bffa-c9f7b73f1dc9/KeyQuestionsonEnergyandAI.pdf (accessed October 11, 2026).

[5] Stanford University. The 2026 AI Index Report, HAI. Human-Centered Artificial Intelligence 2026.

[6] European Parliament. Regulation (EU) 2021/1119 establishing the framework for achieving climate neutrality (‘European Climate Law’). European Parliament 2021.

[7] IEA. World Energy Outlook Special Report Energy and AI 2025. https://iea.blob.core.windows.net/assets/de9dea13-b07d-42c5-a398-d1b3ae17d866/EnergyandAI.pdf (accessed October 4, 2026).

[8] Electricity Maps. Carbon intensity from generating electricity https://app.electricitymaps.com (accessed October 11, 2026).

[9] TechCrunch. ChatGPT users send 2.5 billion prompts a day 2025. https://techcrunch.com/2025/07/21/chatg

pt-users-send-2-5-billion-prompts-a-day/ (accessed October 11, 2026).
[10] Qu F, She W. Artificial Intelligence Technology and Regional Carbon Emission Performance: Does Energy Transition or Industrial Transformation Matter? Sustainability 2025;17:1844. https://doi.org/10.3390/su17051844.
[11] Cooper Elsworth, Keguo Huang, David Patterson, Ian Schneider, Robert Sedivy, Savannah Goodman, et al. Measuring the environmental impact of delivering AI at Google Scale 2025. https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.15734.
[12] Li P, Yang J, Wierman A, Ren S. Towards Environmentally Equitable AI via Geographical Load Balancing 2023.
[13] de Vries-Gao A. The carbon and water footprints of data centers and what this could mean for artificial intelligence. Patterns 2025. https://doi.org/10.1016/j.patter.2025.101430.
[14] Miller T, Durlik I, Kostecka E, Kozlovska P, Staude M, Sokołowska S. The Role of Lightweight AI Models in Supporting a Sustainable Transition to Renewable Energy: A Systematic Review. Energies (Basel) 2025;18. https://doi.org/10.3390/en18051192.
[15] Vijayan DS, Gopalaswamy S, Sivasuriyan A, Koda E, Sitek W, Vaverková MD, et al. Advances and Applications of Carbon Capture, Utilization, and Storage in Civil Engineering: A Comprehensive Review. Energies (Basel) 2024;17. https://doi.org/10.3390/en17236046.
[16] Xin Q. Diesel engine system design. Elsevier; 2011.
[17] Turliuk J. The Net Climate Impact of AI: Balancing Current Costs with Future Climate Benefits 2025.
[18] Afolabi SO, Malachi IO, Olawumi AO, Oladapo BI. Data Process of Net-Zero Revolution for Transforming Earth and Beyond Sustainably. Sustainability 2025;17. https://doi.org/10.3390/su17125367.
[19] Qu F, She W. Artificial Intelligence Technology and Regional Carbon Emission Performance: Does Energy Transition or Industrial Transformation Matter? Sustainability 2025;17:1844. https://doi.org/10.3390/su17051844.
[20] Devarakota P, Tsesmetzis N, Alpak FO, Gala A, Hohl D. AI and the Net-Zero Journey: Energy Demand, Emissions, and the Potential for Transition 2025.
[21] Microsoft. Global AI Diffusion. Q2 2026 Trends and Insights 2026. https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2026/09/Microsoft-AI-Diffusion-Report-2026-Q2.pdf (accessed October 14, 2026).
[22] Misra A, Wang J, McCullers S, White K, Ferres JL. Measuring AI Diffusion: A Population-Normalized Metric for Tracking Global AI Usage 2025.
[23] Amit Misra. AI Diffusion Report Data. GitHub repository. 2026. https://github.com/microsoft/ai-diffusion-report/blob/main/data/AI_Diffusion_Q22026_Update.csv (accessed October 16, 2026).
[24] IPSOS. Google / Ipsos Multi-Country AI Survey 2026 2026. https://www.ipsos.com/en-us/google-ipsos-multi-country-ai-survey-2026 (accessed October 11, 2026).