

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

АНДРУСИК ВЛАДИСЛАВ ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 339.97:339.137.2]:621.315.592

ДИСЕРТАЦІЯ
КОНКУРЕНТНА ВЗАЄМОДІЯ НА ГЛОБАЛЬНОМУ РИНКУ
НАПІВПРОВІДНИКІВ

Спеціальність 292 - Міжнародні економічні відносини

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ **Андрусик В.В.**

Науковий керівник - **Ільницький Денис Олександрович, д.е.н., проф.**

Київ - 2026

АНОТАЦІЯ

Андрусик В.В. Конкурентна взаємодія на глобальному ринку напівпровідників. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 292 «Міжнародні економічні відносини». - Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, Київ, 2026.

Дисертацію присвячено систематизації теоретико-методологічних засад дослідження світового ринку напівпровідників, комплексній характеристиці конкурентних стратегій взаємодії його суб'єктів у глобальних координатах, а також обґрунтуванню сценаріїв розвитку ринку напівпровідникової продукції на найближчу перспективу. Об'єктом дослідження є закономірності і тенденції конкурентного розвитку високотехнологічного сектору глобальної економіки, а предметом - детермінанти, механізми та архітектоніка формування і розвитку конкурентних відносин на глобальному ринку напівпровідників в умовах технологічних, геоекономічних та геополітичних трансформацій. У дисертаційному дослідженні набули вирішення такі основні наукові завдання.

Вперше розроблено комплексну економіко-математичну модель кількісної оцінки системних ризиків глобального ланцюга створення вартості напівпровідникової індустрії, побудовану на поєднанні адаптованої методології «вартість під ризиком» (value-at-risk), симуляційного моделювання Монте-Карло обсягом 500 тис. ітерацій та каскадного відтворення міжсегментних залежностей через матрицю поширення впливів розмірності 6×6 . Модель формалізує взаємозв'язки між шістьма ключовими вузлами галузі та параметризує сім типів ризикових подій (пандемічний шок, експортний контроль та санкції, землетруси та блокада Тайваню, переривання постачання критичних матеріалів, технологічний збій) на основі верифікованих статистичних даних. Доведено, що рівень міжнародної виробничої кооперації є одним з визначальних чинників стійкості галузі, тоді як концентрація виробництва і технологічних компетенцій у вузькому колі

учасників формує підвищені системні ризики та посилює ефект каскадного поширення кризових явищ. Установлено, що найбільш уразливими ланками ланцюга є сегменти виробництва напівпровідників і виготовлення спеціалізованого технологічного обладнання.

Удосконалено теоретико-методологічні засади міждисциплінарного дослідження високотехнологічного сектору світової економіки в умовах глобальних технологічних трансформацій на основі інтегративного поєднання концептуальних положень теорій економіки знань, цифрової трансформації, інноваційної динаміки та глобальних ланцюгів створення вартості. Обґрунтовано системоформуючу роль напівпровідникової галузі у розбудові глобальної технологічної екосистеми та у відтворенні механізмів технологічного лідерства держав і корпоративного сектору. Показано перетворення напівпровідникових технологій та мікроелектроніки з допоміжного виробничого компонента на фундаментальне ядро глобальної техноекономічної парадигми, яке визначає контури міжнародного конкурентного суперництва, механізми привласнення світової технологічної ренти та конфігурацію геоекономічної і геотехнологічної влади.

Поглиблено концептуальні підходи до аналізу конкурентної структури глобального ринку напівпровідників як багаторівневої системи технологічно асиметричних взаємодій між державами, корпораціями та технологічними альянсами, що функціонують в умовах олігополістичної конкуренції, технологічної ієрархізації, підвищених бар'єрів входу, високого рівня монополізації та значної територіальної і секторальної концентрації виробничих потужностей. Установлено, що в умовах техноглобалізму конкурентна структура ринку трансформується у геоекономічно поляризовану модель з домінуванням багаторівневих центрів концентрації технологічної влади, які визначають розподіл глобальної технологічної ренти та світового технологічного лідерства на ключових сегментах доданої вартості.

Дістав подальшого розвитку бенчмаркінг регіональних сегментів глобального ринку напівпровідникової продукції за авторськими критеріями -

рівнем технологічної складності виробництва, часткою регіону у глобальних дослідженнях і розробках, рівнем інноваційної активності, ступенем концентрації виробничих потужностей, рівнем вертикальної інтеграції, ступенем залежності від імпорту критичних компонентів і рівнем регуляторної підтримки. Констатовано глобальне лідерство США за ключовими сегментами напівпровідникового ланцюга створення вартості, що поглиблює регіональну асиметричність галузевої екосистеми. Аргументовано, що вихід на ринок нових гравців з країн Азіатсько-Тихоокеанського регіону (Тайваню, Республіки Корея, Китаю та Японії) поступово модифікує його центр-периферійну модель у напрямі чітко виражених поліцентричних характеристик.

Розроблено авторську періодизацію еволюційних трансформацій світової напівпровідникової галузі впродовж останнього століття з методологічних позицій інноваційно-циклічного розвитку за виокремленими критеріями (зміна технологічних поколінь виробництва, поява ключових інновацій, динаміка досліджень і розробок, трансформація бізнес-моделей, інтенсивність злиттів і поглинань, домінуючі інструменти державної промислової політики тощо). Виділено п'ять етапів еволюції галузі - інституційний, індустріальний, транснаціональний, інтегративний та когнітивно-алгоритмічний. Доведено, що когнітивно-алгоритмічний етап формує якісно нову конфігурацію глобальної конкуренції на основі штучного інтелекту та високопродуктивних обчислень.

Систематизовано технологічні, економічні, інституційні, ресурсні та геополітичні детермінанти трансформації глобального ринку напівпровідників в умовах наростаючого впливу квантових технологій. Обґрунтовано становлення принципово нової - інноваційно орієнтованої моделі його розвитку, що ґрунтується на первинності національного технологічного суверенітету, формуванні розподілених і диверсифікованих ланцюгів створення вартості та посиленні адаптивності галузевої екосистеми до зовнішніх шоків і геоекономічних обмежень. Показано, що синергетична

дія зазначених чинників зумовлює поетапне становлення квантово орієнтованої парадигми розвитку галузі - від обмеженого застосування експериментальних розробок через стандартизацію технічних рішень до системної трансформації проектування, матеріалознавства та виробничих систем у довгостроковій перспективі.

Надано панорамну характеристику домінантних трендів сучасного розвитку глобального ринку напівпровідників, які засвідчують трансформацію його конкурентної структури у напрямі багатополюсної системи технологічних центрів: посилення геоекономічної фрагментації та регіоналізації виробництва, формування поліцентричної моделі технологічного лідерства, інтенсифікація протекціонізму, розширення практик експортного контролю та субсидування національних виробників, поглиблення вертикальної інтеграції, масштабування контрактного виробництва та зростання інвестицій у дослідження і розробки. Установлено, що угоди злиттів і поглинань напівпровідникових компаній є водночас головним механізмом концентрації капіталу й технологічних ресурсів і інструментом усунення структурних дисбалансів у глобальних ланцюгах постачання.

Здійснено сценарне прогнозування структурної динаміки глобального ринку напівпровідників на період до 2050 року з виділенням семи сценаріїв - інноваційно-інтеграційного, адаптивної фрагментації, геополітичного розриву, «відкритого шляху», «хибного затишшя», адаптивної диверсифікації та «геополітичного глухого кута». Обґрунтовано найбільшу сприятливість сценарію «відкритого шляху», за якого тарифні бар'єри усуваються внаслідок переговорних процесів, а глобальна система постачання трансформується у гнучкішу і взаємопов'язану модель. Доведено, що найбільші загрози для світового технологічного поступу несе сценарій «геополітичного глухого кута», пов'язаний із посиленням тарифного тиску та наростаючою фрагментацією глобального торговельного порядку.

Надано комплексну оцінку конкурентної диспозиції України на світовому ринку напівпровідників на основі ідентифікації її потенційних конкурентних переваг (високий рівень людського капіталу у STEM-сфері, розвинений ІТ-сектор та екосистема програмної інженерії, університетський науково-дослідний ресурс, інтегрованість у європейський технологічний простір, відносно низька вартість висококваліфікованої праці) та структурних обмежень (висока капіталомісткість галузі, концентрація виробничих потужностей у країнах АТР, високі технологічні бар'єри входу, обмежений доступ до передових виробничих технологій). Обґрунтовано пріоритетність інтеграції України у глобальні ланцюги створення вартості на етапах дизайну та інжинірингу - через розвиток інжинірингового аутсорсингу та послуг у сфері досліджень і розробок, входження вітчизняних компаній в екосистеми електронного проектування та державну підтримку спеціалізованих інженерних кластерів, орієнтованих на дизайн складних мікроархітектур, embedded-систем та чипів для застосувань штучного інтелекту.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що сформульовані автором теоретико-методологічні положення, висновки і рекомендації можуть слугувати методологічною базою для формування державної політики розвитку напівпровідникової галузі, розроблення стратегій посилення конкурентних позицій України на глобальному високотехнологічному ринку та забезпечення її інтеграції у світові та європейські ланцюги створення вартості у сфері мікроелектроніки й цифрових технологій. Наукові напрацювання та практичні рекомендації автора використано у діяльності ТОВ «Елемент-Перетворювач» (довідка № 134Е/08 від 08.04.2026 р.) та ТОВ «Сістем Груп Лтд.» (довідка № 09/06 від 09.06.2026 р.), а також у навчальному процесі Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана при викладанні дисциплін «Міжнародна економіка», «Міжнародна торгівля» та «Міжнародний менеджмент» (довідка від 14.01.2026 р.).

Ключові слова: глобалізація, конкуренція, конкурентоспроможність, конкурентне лідерство, Індустрія 4.0, конкурентна взаємодія, глобальний ринок напівпровідників, інноваційні мережі, інновації, інноваційна економіка, інноваційна система, інтелектуальний капітал, економіка знань, інноваційна конкурентоспроможність, цифровізація.

ABSTRACT

Andrusyk V.V. Competitive Interaction in the Global Semiconductor Market. - Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 292 - International Economic Relations. - Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Kyiv, 2026.

The dissertation is devoted to the systematisation of the theoretical and methodological foundations for studying the global semiconductor market, to a comprehensive characterisation of the competitive interaction strategies of its actors in the global context, and to substantiating scenarios for the development of the semiconductor market in the near term. The object of the study is the regularities and trends in the competitive development of the high-technology sector of the global economy, while the subject is the determinants, mechanisms and architectonics of the formation and development of competitive relations in the global semiconductor market under technological, geo-economic and geopolitical transformations. The following principal scientific tasks have been addressed in the dissertation.

For the first time, a comprehensive economic-mathematical model for the quantitative assessment of the systemic risks of the global value chain of the semiconductor industry has been developed, built on the combination of an adapted value-at-risk methodology, Monte Carlo simulation modelling comprising 500 thousand iterations, and the cascade reproduction of inter-segment dependencies through a 6×6 impact-propagation matrix. The model formalises the relationships among six key nodes of the industry and parameterises seven types of risk events (a

pandemic shock, export control and sanctions, earthquakes and a blockade of Taiwan, the disruption of critical-materials supply, and a technological failure) on the basis of verified statistical data. It has been proven that the level of international production cooperation is one of the decisive factors of the industry's resilience, whereas the concentration of production and technological competencies within a narrow circle of participants generates elevated systemic risks and amplifies the cascade-propagation effect of crisis phenomena. It has been established that the most vulnerable links of the chain are the segments of semiconductor fabrication and the manufacture of specialised technological equipment.

The theoretical and methodological foundations of the interdisciplinary study of the high-technology sector of the world economy under global technological transformations have been improved through the integrative combination of the theories of the knowledge economy, digital transformation, innovation dynamics and global value chains. The system-forming role of the semiconductor industry in building the global technological ecosystem and in reproducing the mechanisms of technological leadership of states and the corporate sector has been substantiated. The transformation of semiconductor technologies and microelectronics from an auxiliary production component into the fundamental core of the global techno-economic paradigm - which shapes the contours of international competitive rivalry, the mechanisms of appropriating global technological rent and the configuration of geo-economic and geo-technological power - has been demonstrated.

The conceptual approaches to analysing the competitive structure of the global semiconductor market as a multi-level system of technologically asymmetric interactions among states, corporations and technological alliances operating under oligopolistic competition, technological hierarchisation, elevated entry barriers, a high level of monopolisation and significant territorial and sectoral concentration of production capacities have been deepened. It has been established that, under techno-globalisation, the competitive structure is being transformed into a geo-economically polarised model dominated by multi-level centres of technological

power concentration that determine the distribution of global technological rent and world technological leadership across the key value-added segments.

The benchmarking of the regional segments of the global semiconductor market according to the author's criteria - the level of technological complexity of production, the region's share in global R&D, the level of innovation activity, the degree of production-capacity concentration, the level of vertical integration, the degree of dependence on imports of critical components and the level of regulatory support - has been carried out. The global leadership of the United States across the key segments of the semiconductor value chain has been ascertained, deepening the regional asymmetry of the industry ecosystem. It has been argued that the entry of new actors from the Asia-Pacific region (Taiwan, the Republic of Korea, China and Japan) is gradually modifying the centre-periphery model towards clearly expressed polycentric characteristics.

An author's periodisation of the evolutionary transformations of the world semiconductor industry over the past century has been developed from the methodological standpoint of the innovation-cyclical development of economic systems, according to the identified criteria (changes in production technology generations, the emergence of key innovations, R&D dynamics, the transformation of business models, the intensity of mergers and acquisitions, the dominant instruments of state industrial policy, etc.). Five stages of the industry's evolution have been identified - institutional, industrial, transnational, integrative and cognitive-algorithmic. It has been proven that the cognitive-algorithmic stage forms a qualitatively new configuration of global competition based on artificial intelligence and high-performance computing.

The technological, economic, institutional, resource and geopolitical determinants of the transformation of the global semiconductor market under the growing influence of quantum technologies have been systematised. The emergence of a fundamentally new - innovation-oriented - model of its development has been substantiated, grounded in the primacy of national technological sovereignty, the formation of distributed and diversified value chains, and the enhanced adaptability

of the industry ecosystem to external shocks and geo-economic constraints. It has been shown that the synergetic effect of these factors drives the gradual establishment of a quantum-oriented development paradigm - from the limited application of experimental developments, through the standardisation of technical solutions, to the systemic transformation of design, materials science and production systems in the long term.

A panoramic characterisation of the dominant trends in the contemporary development of the global semiconductor market has been provided, attesting to the transformation of its competitive structure towards a multipolar system of technological centres: the intensification of geo-economic fragmentation and the regionalisation of production, the formation of a polycentric model of technological leadership, the escalation of protectionism, the expansion of export-control practices and the subsidisation of national producers, the deepening of vertical integration, the scaling of contract manufacturing and the growth of R&D investment. It has been established that mergers and acquisitions of semiconductor companies serve simultaneously as the principal mechanism of capital and technology concentration and as an instrument for eliminating structural imbalances in global supply chains.

Scenario forecasting of the structural dynamics of the global semiconductor market for the period up to 2050 has been carried out, identifying seven scenarios - innovation-integration, adaptive fragmentation, geopolitical rupture, the “open path”, the “false lull”, adaptive diversification and the “geopolitical impasse”. The greatest favourability of the “open path” scenario has been substantiated, under which tariff barriers are removed through negotiation processes and the global supply system is transformed into a more flexible and interconnected model. It has been proven that the greatest threats to global technological progress are posed by the “geopolitical impasse” scenario, associated with the intensification of tariff pressure and the growing fragmentation of the global trade order.

A comprehensive assessment of Ukraine’s competitive disposition in the global semiconductor market has been provided on the basis of identifying its potential competitive advantages (a high level of human-capital development in the

STEM sphere, a developed IT sector and software-engineering ecosystem, a university-based research resource, integration into the European technological space, and the relatively low cost of highly qualified labour) and structural constraints (the high capital intensity of the industry, the concentration of production capacities in Asia-Pacific countries, high technological entry barriers, and limited access to advanced production technologies). The priority of Ukraine's integration into global value chains at the design and engineering stages has been substantiated - through the development of engineering outsourcing and R&D services, the entry of domestic companies into electronic-design ecosystems, and state support for specialised engineering clusters oriented towards the design of complex micro-architectures, embedded systems and AI-oriented chips.

The practical significance of the obtained results lies in the fact that the theoretical and methodological provisions, conclusions and recommendations formulated by the author can serve as a methodological basis for shaping state policy for the development of the semiconductor industry, for designing strategies to strengthen Ukraine's competitive positions in the global high-technology market, and for ensuring its integration into global and European value chains in the sphere of microelectronics and digital technologies. The author's scientific findings and practical recommendations have been implemented in the activities of LLC "Element-Peretvoryuvach" (implementation certificate No. 134E/08 of 08.04.2026) and LLC "System Group Ltd." (implementation certificate No. 09/06 of 09.06.2026), as well as in the educational process of Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman in teaching the disciplines "International Economics", "International Trade" and "International Management" (implementation certificate of 14.01.2026).

Keywords: globalization, competition, competitiveness, competitive leadership, Industry 4.0, competitive interaction, global semiconductor market, innovation networks, innovations, innovation economy, innovation system, intellectual capital, knowledge economy, innovation competitiveness, digitalization.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації в фахових виданнях України

1. Барабась Д., Ільницький Д., Андрусик В. Штучний інтелект в системі детермінант конкурентоспроможності сучасного бізнесу. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2024. № 6(336). С. 454-460. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-336-70>. 0.8 д.а., особисто автору належить 0.15 д.а., обгрунтовано роль напівпровідникової індустрії в системі детермінант конкурентоспроможності сучасного бізнесу.
2. Андрусик В. Конкурентна боротьба за високотехнологічне лідерство: глобальний вимір ринку напівпровідників. *Вісник Академії праці, соціальних відносин і туризму. Сер.: економіка, психологія та управління*. 2025. № 5. DOI: <https://doi.org/10.54929/3041-2390-2025-05-01-13>. 0.95 д.а.
3. Андрусик В.В. Інституційна трансформація конкурентної взаємодії на глобальному ринку напівпровідників: від ринкового до державно-стратегічного режиму організації галузі. *Інноваційна економіка*. 2026. № 1. С. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2026.1>. 0.6 д.а.
4. Андрусик В. Вплив технологій штучного інтелекту на трансформацію конкурентних стратегій та структуру попиту на глобальному ринку напівпровідників. *Бізнес-навігатор*. 2026. Вип. 2(85). С. 676-682. DOI: <https://doi.org/10.32782/business-navigator.85-105>. 0.64 д.а.

Публікації апробаційного характеру

5. Андрусик В. Адаптація високотехнологічного сектору в умовах формування пост-індустріального суспільства. *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche : IV International Scientific and Practical Conference (September 29, 2023, Bologna, Italy)*. К.: Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», 2023. Р. 19-21. 0.14 д.а.
6. Андрусик В. Детермінанти розвитку економічної моделі індустрії напівпровідників. *Бізнес-аналітика: моделі, інструменти та технології :*

- мат. V Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 5-6 березня 2024 р.). К.: НАУ, 2024. С. 162-166. 0.22 д.а.
7. Ilnytsky D., Drobotiuk O., Andrusyk V. Sustainable development through green innovations: economic strategies of China and the EU compared. *Exploring global perspectives : The 7th international conference on economics and social sciences* (June 13-14, 2024, Bucharest, Romania). Bucharest: Bucharest University of Economic Studies, 2024. P. 512-525. 0.9 д.а., особисто автору належить 0,12 д.а., обґрунтовано роль напівпровідникової індустрії у забезпеченні сталого розвитку через «зелені» інновації.
 8. Андрусик В. Вплив напівпровідникової промисловості на міжнародні економічні відносини в умовах глобальної конкуренції. *Міжнародні економічні відносини в глобальному та регіональному вимірі* : мат. Міжн. наук.-практ. конф. (м. Ужгород, 18-19 жовтня 2024 р.). Львів-Торунь: Liha-Pres, 2024. С. 262-264. 0.13 д.а.
 9. Андрусик В. Ключові тренди конкурентного розвитку ринку напівпровідників. *Стратегічні напрями економічної та соціальної політики в контексті глобальних змін* : мат. Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 7 лютого 2025 р.). Львів-Торунь: Liha-Pres, 2025. С. 302-304. 0.13 д.а.

ЗМІСТ

ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЛОБАЛЬНОГО РИНКУ НАПІВПРОВІДНИКІВ.....	28
1.1. Високотехнологічний сектор у постіндустріальній парадигмі глобального економічного розвитку.....	28
1.2. Глобальні детермінанти розвитку світової напівпровідникової індустрії.....	47
1.3. Мережева архітектоніка глобального ринку напівпровідників	76
Висновки до розділу 1	94
РОЗДІЛ 2. ГЛОБАЛЬНИЙ КОНКУРЕНТНИЙ ЛАНДШАФТ СВІТОВОГО РИНКУ НАПІВПРОВІДНИКІВ	98
2.1. Сучасні тренди конкурентної еволюції ринку напівпровідників	98
2.2. Конкурентна диспозиція суб'єктів глобального ринку в системі балансування попиту і пропозиції напівпровідникової продукції	116
2.3. Стратегічні моделі конкурентної взаємодії суб'єктів світового ринку напівпровідників.....	138
Висновки до розділу 2.....	155
РОЗДІЛ 3. СЦЕНАРНІ ТРАЄКТОРІЇ КОНКУРЕНТНОГО РОЗВИТКУ СВІТОВОГО РИНКУ НАПІВПРОВІДНИКІВ	159
3.1. Квантова перевага як детермінанта розвитку національних напівпровідникових екосистем	159
3.2. Сценарне прогнозування структурної динаміки глобального ринку напівпровідників.....	178
3.3. Конкурентна диспозиція України на світовому ринку напівпровідників та стратегічні напрями її зміцнення	196
Висновки до розділу 3.....	216
ВИСНОВКИ.....	220
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	224
ДОДАТКИ	257

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Фундаментальні структурні трансформації світогосподарської системи спричиняють в останні десятиліття її перехід до принципово нової технологічної парадигми, в якій індустрія напівпровідників виступає базовим чинником економічного зростання, інноваційного розвитку та забезпечення міжнародної конкурентоспроможності країн. Інтенсивний розвиток цифрової економіки, особливо технологій штучного інтелекту, високопродуктивних обчислень, Інтернету речей, автоматизації виробництва та інших цифрових технологій, що сягає нині до 20% глобального ВВП, суттєво підвищує роль напівпровідників як стратегічного ресурсу світового інноваційного прогресу, міжнародної конкурентоспроможності та технологічної безпеки держав. Глобальний етап розвитку світового ринку напівпровідникової продукції характеризується істотним загостренням геоекономічної конкуренції за контроль над критичними технологіями, посиленням технологічного протекціонізму та глибокою трансформацією глобальних ланцюгів створення вартості. У таких умовах міжнародні конкурентні відносини на глобальному ринку напівпровідників виходять далеко за межі корпоративного суперництва, набуваючи стратегічного значення для держав, які прагнуть зміцнити власний технологічний суверенітет і конкурентні позиції у світовій економіці.

Водночас усі ми на сьогодні є свідками високої концентрації виробничих потужностей, технологічних компетенцій та інноваційних ресурсів у невеликій кількості країн і компаній. Це формує асиметричну структуру світового ринку напівпровідників, посилює технологічні залежності, зумовлює появу нових моделей міжнародної конкуренції та формує стійкі передумови для зміни конкурентного балансу в галузі та перерозподілу глобального технологічного лідерства. За таких умов особливої наукової значущості набуває дослідження закономірностей розвитку конкурентних відносин на глобальному ринку напівпровідників, виявлення чинників

формування конкурентних переваг та обґрунтування концептуальних підходів до посилення позицій держав і компаній у стратегічно важливому секторі світової економіки.

Найбільш вагомий внесок у розроблення наукової проблематики постіндустріального розвитку світової економіки, формування глобальних виробничих мереж, еволюції міжнародної конкуренції в умовах цифровізації, трансформації високотехнологічних ринків, розвитку напівпровідникової індустрії, міжнародної спеціалізації та функціонування світових ринків високотехнологічної продукції зробили такі вітчизняні і зарубіжні учені як: С.Алам, К. Армстронг, А. Айхенберг, Д. Барабась, Т. Дж. Барнс, Н. Безрукова, Д.Белл, О. Белов, Д. Браун, К.-А. Брезе, О. Булатова, М. С. Бхатія, А. Ван, М.Вермелінгер, С. Т. Відья, Ф. Вітлокс, Дж. Ву, Х. Гебауер, М. С. Гертлер, М.А.Гонсалес, Н. Гончаренко, К. Дальман, І. Дервіші, А. Джалілов, П. Ф. Друкер, Д. Ільницький, І. Імнадзе, Т. Кадзімото, Я. Карпик, І. Козик, К. Корсунова, К.Костелло, М. Кохтамякі, В. Кочетков, С. Кумар, М. А. Кусумано, В. Куценко, Дж. Лепавські, М. Леслі, Ю. Лі, С. Лохокаре, Ф. Мао, С. Мілі, Р. Мец, М. А. Міллз, Г. Е. Мур, С. Муса, Е. О'Коннор, Г. Островська, С. Пак, В. Паріда, К. Парнрайтер, П. С. Патель, О. Пищуліна, Е. Прушківська, Т. Пуллін, М. Рауз, Н. Резнікова, С.Сайто, К. І. Сафіулін, Г. Сащук, С. Свейдан, Х. Сонг, Б. Стеценко, Я.Столярчук, Ф. Ся, А. Ткачук, Т. Черничко, Т. Черницька, С. Чжао, С. Дж. Чоу, Т. Чу, О. Швиданенко, А. Шлапак, Т. Ямагучі та багато інших.

Водночас аналіз наукових праць свідчить, що, попри суттєві здобутки у розробленні досліджуваної проблематики, досі не сформовано цілісного наукового підходу до вирішення цілої низки її теоретичних і прикладних питань. Насамперед це стосується розкриття теоретико-методологічних основ дослідження світового ринку напівпровідників. Ґрунтовного аналізу потребують конкурентні стратегії взаємодії його суб'єктів у глобальних координатах, а також обґрунтування сценаріїв розвитку ринку напівпровідникової продукції на найближчу перспективу. Таким чином, комплексне дослідження конкурентних відносин на глобальному ринку

напівпровідників має суттєве теоретичне та практичне значення, що зумовило вибір теми дисертаційної роботи, її мету та завдання, об'єкт і предмет.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано згідно тематики наукових досліджень Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана за міжкафедральними науково-дослідними темами факультету міжнародної економіки і менеджменту «Стратегії національного розвитку в парадигмі глобальної економічної політики» (номер державної реєстрації 0111U007630) та «Глобальний економічний розвиток в умовах формування цифрового суспільства» (номер державної реєстрації 0121U114086). У межах зазначених науково-дослідних тем автором особисто підготовлено розділи «Глобальна конфігурація ринку напівпровідникової продукції», «Конкурентні стратегії взаємодії суб'єктів світового ринку напівпровідників» та «Сценарії розвитку глобального ринку напівпровідників у глобальних координатах».

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є систематизація теоретико-методологічних засад дослідження світового ринку напівпровідників, комплексна характеристика конкурентних стратегій взаємодії його суб'єктів у глобальних координатах, а також обґрунтування сценаріїв розвитку ринку напівпровідникової продукції на найближчу перспективу.

Виходячи з мети дослідження, у роботі поставлено та вирішено такі конкретні завдання:

- визначити місце високотехнологічного сектору у постіндустріальній парадигмі глобального економічного розвитку;
- охарактеризувати глобальні детермінанти розвитку світової напівпровідникової індустрії;
- дослідити мережеву архітектуру глобального ринку напівпровідників;
- проаналізувати сучасні тренди конкурентної еволюції ринку напівпровідників;

- розкрити ключові особливості конкурентного розподілу ринку напівпровідникової продукції;
- узагальнити стратегічні моделі конкурентної взаємодії суб'єктів світового ринку напівпровідників;
- дослідити роль квантової переваги як детермінанти розвитку національних напівпровідникових екосистем;
- здійснити сценарне прогнозування структурної динаміки глобального ринку напівпровідників;
- обґрунтувати конкурентну диспозицію України на світовому ринку напівпровідників та стратегічні напрями її зміцнення.

Об'єктом дослідження є закономірності і тенденції конкурентного розвитку високотехнологічного сектору глобальної економіки.

Предметом дослідження є детермінанти, механізми та архітектоніка формування і розвитку конкурентних відносин на глобальному ринку напівпровідників в умовах технологічних, гео економічних та геополітичних трансформацій.

Методи дослідження. Теоретико-методологічний базис дисертаційної роботи сформовано на основі положень економічної теорії, теорії міжнародної конкуренції, концепцій глобальних ланцюгів створення вартості та технологічного розвитку. Методологія дослідження ґрунтується на принципах системності, комплексності, наукової об'єктивності та єдності теоретичного й емпіричного аналізу. Для реалізації мети дослідження та розв'язання поставлених завдань у дисертації було застосовано сукупність загальнонаукових і спеціальних методів дослідження процесів формування та трансформації конкурентних відносин на глобальному ринку напівпровідників, а саме: діалектичний метод (при визначенні місця високотехнологічного сектору у постіндустріальній парадигмі глобального економічного розвитку та розкритті теоретико-методологічних засад міждисциплінарного дослідження високотехнологічного сектору світової економіки в умовах глобальних технологічних трансформацій: пп. 1.1, 1.2); історико-логічний метод (при здійсненні авторської періодизації еволюційних

трансформацій світової напівпровідникової галузі: пп. 1.3); системно-структурний аналіз економічних процесів та явищ (при комплексній характеристиці глобальних детермінантів розвитку світової напівпровідникової індустрії та розкритті ключових особливостей конкурентного розподілу ринку напівпровідникової продукції: пп. 1.2, 2.2); аналіз та синтез (при характеристиці мережевої архітекτονіки глобального ринку напівпровідників, розкритті сучасних трендів його конкурентної еволюції, а також обґрунтуванні конкурентної диспозиції України на світовому ринку напівпровідників та стратегічних напрямів її зміцнення: пп. 1.3, 2.1, 3.3); метод кількісного та якісного порівнянь (при узагальненні стратегічних моделей конкурентної взаємодії суб'єктів світового ринку напівпровідників та дослідженні ролі квантової переваги як детермінанти розвитку національних напівпровідникових екосистем: пп. 2.3, 3.1); експертних оцінок та прогнозний (при розробленні комплексної економіко-математичної моделі кількісної оцінки системних ризиків глобального ланцюга створення вартості напівпровідникової індустрії та здійсненні сценарного прогнозування структурної динаміки глобального ринку напівпровідників: пп. 2.2, 3.2).

Інформаційно-статистичну основу дисертаційної роботи становлять монографічні дослідження вітчизняних і зарубіжних науковців-економістів з проблематики глобального науково-технологічного й інноваційного розвитку, постіндустріальних трансформацій світогосподарської системи, міжнародної конкуренції, формування економіки знань, розвитку глобального ринку напівпровідників, структурних змін високотехнологічних галузей в умовах цифровізації світової економіки; матеріали та аналітичні звіти міжнародних організацій і науково-дослідних агенцій (ОЕСР, Європейської Комісії, Британського комп'ютерного товариства, Глобальної асоціації напівпровідників, Американського інституту підприємництва, Національного центру біотехнологічної інформації США та ін.); статистично-аналітичні матеріали Державної служби статистики України, Deloitte, PwC, McKinsey &

Companu; результати наукових досліджень Українського центру економічних і політичних досліджень імені Олександра Разумкова та ін.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи визначається розробленням автором якісно нового концептуального підходу до дослідження структурних трансформацій глобального ринку напівпровідників через призму конкурентних відносин між його ключовими суб'єктами; систематизацією кількісно-якісних характеристик, факторних детермінант та сценаріїв його структурної динаміки в умовах загострення світового технологічного суперництва; а також обґрунтуванні стратегічних пріоритетів формування й реалізації конкурентних переваг України на світовому ринку напівпровідникової продукції.

Нові наукові положення, одержані особисто автором, які виносяться на захист, полягають у такому:

вперше:

- розроблено комплексну **економіко-математичну модель кількісної оцінки системних ризиків глобального ланцюга створення вартості напівпровідникової індустрії**, побудовану на основі поєднання адаптованої методології «вартість під ризиком» (value-at-risk), симуляційного моделювання Монте-Карло обсягом 500 тис ітерацій та каскадного відтворення міжсегментних залежностей через матрицю поширення впливів розмірності 6×6 , що дозволило сформувати цілісну формалізацію взаємозв'язків між шістьма ключовими вузлами галузі (ДіР, автоматизоване проєктування, обладнання для виробництва, виробництво, складання і тестування, кінцевий продукт), здійснити на основі верифікованих статистичних даних AlixPartners, USGS, Bloomberg Economics, Rhodium Group та Institute for Economics and Peace параметризацію семи типів ризикових подій (пандемічний шок, експортний контроль та санкції, землетруси магнітудою 6+ та 7+ на Тайвані, блокада Тайваню, переривання постачання критичних матеріалів, технологічний збій), а також кількісно обґрунтувати взаємозв'язок між рівнем міжнародної виробничої кооперації та потенційними економічними втратами галузі. Доведено, що рівень міжнародної виробничої

кооперації є одним з визначальних чинників стійкості глобальної напівпровідникової індустрії, тоді як концентрація виробництва та технологічних компетенцій у вузькому колі учасників формує підвищені системні ризики та посилює ефект каскадного поширення кризових явищ. Встановлено, що найбільш уразливими елементами глобального ланцюга створення вартості є сегменти виробництва напівпровідників і виготовлення спеціалізованого технологічного обладнання, порушення функціонування яких здатне спричиняти масштабні дестабілізаційні ефекти для всієї галузі та її стейкхолдерів;

удосконалено:

- теоретико-методологічні засади міждисциплінарного дослідження високотехнологічного сектору світової економіки в умовах глобальних технологічних трансформацій на основі інтегративного поєднання концептуальних засад теорій економіки знань, цифрової трансформації, інноваційної динаміки та глобальних ланцюгів створення вартості з обґрунтуванням системоформуючої ролі напівпровідникової галузі у розбудові глобальної технологічної екосистеми та відтворенні механізмів технологічного лідерства держав і корпоративного сектору. Теоретично доведено трансформацію напівпровідникових технологій та мікроелектроніки з допоміжного виробничого компонента у фундаментальне ядро глобальної техноекономічної парадигми, яке детермінує архітектуру міжнародних конкурентних відносин, механізми привласнення світової технологічної ренти та конфігурацію геоекономічної і геотехнологічної влади у світогосподарській системі;

- концептуальні підходи до аналізу конкурентної структури глобального ринку напівпровідників як багаторівневої системи технологічно асиметричних взаємодій між державами, корпораціями та технологічними альянсами, що функціонують в умовах олігополістичної конкуренції, технологічної ієрархізації, підвищених бар'єрів входу, високого рівня монополізації та значної територіальної і секторальної концентрації виробничих потужностей. Доведено, що в умовах техноглобалізму конкурентна структура світового

ринку напівпровідникової продукції активно трансформується у геоекономічно поляризовану модель з домінуванням багаторівневих центрів концентрації технологічної влади, які визначають розподіл глобальної технологічної ренти та світового технологічного лідерства на ключових сегментах доданої вартості (проектування, виробництва, обладнання та матеріалів) як головної рушійної сили посилення геоекономічної фрагментації глобального ринку напівпровідників;

дістало подальшого розвитку:

- бенчмаркінг регіональних сегментів глобального ринку напівпровідникової продукції за авторськими критеріями щодо рівня технологічної складності виробництва, частки регіону у глобальних ДіР у сфері мікроелектроніки, рівня інноваційної активності напівпровідникового сектору, ступеня концентрації виробничих потужностей, рівня вертикальної інтеграції регіональної індустрії, ступеня залежності від імпорту критичних компонентів і обладнання, рівня регуляторної підтримки напівпровідникової індустрії та ін. Констатовано глобальне лідерство США за ключовими сегментами напівпровідникового ланцюга створення вартості (проектування мікропроцесорів, виробництва технологічного обладнання та розроблення програмного забезпечення для автоматизованого проектування інтегральних схем), що закріплює їх домінуючі позиції у світовій технологічній ієрархії та поглиблює регіональну асиметричність глобальної напівпровідникової екосистеми. Аргументовано, що вихід на глобальний ринок напівпровідників нових гравців з числа компаній держав Азіатсько-Тихоокеанського регіону (Тайваню, Республіки Корея, Китаю та Японії) істотно модифікує діючу на сьогодні його центрально-периферійну модель, яка за сукупністю об'єктивних показників поступово набуватиме чітко виражених поліцентричних характеристик через диверсифікацію і просторову передислокацію виробничих потужностей у країни АТР, нарощування їх науково-технологічних конкурентних переваг, активну розбудову ними національних інноваційно-індустріальних екосистем, активізацію державної промислової

політики, а також реалізацію національних стратегій технологічного суверенітету;

- з методологічних позицій інноваційно-циклічного розвитку економічних систем розроблено авторську періодизацію еволюційних трансформацій світової напівпровідникової галузі в останнє століття на основі виокремлених дисертантом критеріїв (зміна технологічних поколінь виробництва, поява ключових інновацій та нових технологічних процесів, динаміка ДіР, трансформація бізнес-моделей, структура доданої вартості, інтенсивність ЗіП, домінуючі інструменти державної промислової політики та експортного регулювання та ін.): *I-й етап - інституційний* (інституціоналізація напівпровідникової індустрії та технологічні відкриття - 1940-1950-ті роки); *II-й етап - індустріальний* (формування мікроелектронної парадигми та індустріалізація виробництва інтегральних мікросхем - 1960-1970-ті роки); *III-й етап - транснаціональний* (транснаціоналізація напівпровідникового виробництва та становлення Азіатсько-Тихоокеанського виробничого ядра - 1980-1990-ті роки); *IV-й етап - інтегративний* (цифрова революція та інтеграція напівпровідників у глобальну інформаційну економіку - 2000-2010-ті роки); *V-й етап - когнітивно-алгоритмічний* (динамічний розвиток AI-, хмарних - і 5G-орієнтованих технологій - 2020-ті роки - теперішній час). Доведено, що когнітивно-алгоритмічний етап еволюційної трансформації світової напівпровідникової галузі формує якісно нову конфігурацію глобальної конкуренції на основі штучного інтелекту та високопродуктивних обчислень;

- систематизація технологічних, економічних, інституційних, ресурсних та геополітичних детермінантів трансформації глобального ринку напівпровідників в умовах наростаючого впливу на його структурну динаміку квантових технологій з обґрунтуванням становлення в сучасних умовах принципово нової - інноваційно орієнтованої моделі його розвитку, що базується на пріоритеті національного технологічного суверенітету, формуванні розподілених і диверсифікованих ланцюгів створення вартості та посиленні адаптивності глобальної напівпровідникової екосистеми до

зовнішніх шоків і геоекономічних обмежень. Доведено, що синергетична дія зазначених чинників зумовлює поетапне становлення квантово орієнтованої парадигми розвитку глобального ринку напівпровідникової продукції - від формування експериментально-дослідних розробок і їх обмеженого застосування у вузькоспеціалізованих інженерних сферах до розширення їх практичного використання внаслідок стандартизації технічних рішень - і, у довгостроковій перспективі, до системної трансформації галузі на основі впровадження квантових підходів у проєктування, матеріалознавство, виробничі системи, ринкові та економічні моделі, що спричинить докорінну зміну конфігурації глобального технологічного лідерства та перерозподіл інноваційних конкурентних переваг у світовій економіці;

- панорамна характеристика домінантних трендів сучасного розвитку глобального ринку напівпровідників, котрі засвідчують трансформацію його конкурентної структури у напрямі формування багатополюсної системи технологічних центрів та загострення боротьби за контроль над критичними сегментами глобального ланцюга створення вартості: посилення геоекономічної фрагментації та регіоналізації виробництва, формування поліцентричної моделі технологічного лідерства, загострення міждержавного технологічного суперництва, інтенсифікація протекціоністських заходів, розширення практик експортного контролю та державного субсидування національних виробників, поглиблення вертикальної інтеграції ключових сегментів напівпровідникового ланцюга створення вартості, масштабування контрактного виробництва напівпровідників, зростання інвестицій у ДіР у сфері мікроелектроніки, активізація процесів ЗіП тощо. Встановлено, що угоди злиттів і поглинань напівпровідникових компаній є, з одного боку, головним механізмом концентрації капіталу і технологічних ресурсів у даному секторі світової економіки, а з другого, інструментом усунення структурних дисбалансів у глобальних ланцюгах постачання, що забезпечує їх структурну оптимізацію та формування більш стійкої конфігурації глобального ринку напівпровідників;

- сценарне прогнозування структурної динаміки глобального ринку напівпровідників на період до 2050 р.: інноваційно-інтеграційний, адаптивної фрагментації, геополітичного розриву, «відкритого шляху», «хибного затишшя», адаптивної диверсифікації, «геополітичного глухого кута». Обґрунтовано найбільшу сприятливість і доцільність сценарію «відкритого шляху», за якого тарифні бар'єри з боку США будуть усунуті унаслідок переговорних процесів, а глобальна система постачання напівпровідників трансформується у більш гнучку і взаємопов'язану модель. Доведено найбільші загрози для світового технологічного поступу сценарію «геополітичного глухого кута» унаслідок значного посилення тарифного тиску на ринок напівпровідникової продукції, наростаючої фрагментації глобального торговельного порядку та його підпорядкування геополітичним інтересам окремих блоків.

- комплексна оцінка конкурентної диспозиції України на світовому ринку напівпровідників на основі ідентифікації її потенційних конкурентних переваг (високий рівень розвитку національного людського капіталу у STEM-сфері, розвинений ІТ-сектор та екосистема програмної інженерії, сформований на базі університетів і академічних інститутів науково-дослідний ресурс у фізиці, матеріалознавстві та електроніці, географічна та інституційна інтегрованість у європейський технологічний простір, відносно низька вартість висококваліфікованої праці, досвід участі у глобальних цифрових ланцюгах створення вартості) та структурних обмежень у контексті трансформації глобальної напівпровідникової індустрії (висока капіталомісткість галузі, концентрація виробничих потужностей у країнах АТР, високі технологічні бар'єри входу, обмежений доступ до передових виробничих технологій та посилення гео економічної фрагментації світового ринку). Доведено пріоритетність інтеграції України у глобальні ланцюги створення вартості на етапах дизайну та інжинірингу напівпровідникової індустрії на основі розвитку інжинірингового аутсорсингу та послуг у сфері ДіР для міжнародних компаній, входження українських компаній в екосистеми електронного проєктування та програмного забезпечення для

мікроелектроніки, державної підтримки спеціалізованих інженерних кластерів і центрів компетенцій, орієнтованих на дизайн складних мікроархітектур, embedded-систем та AI-орієнтованих чипів та ін.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що сформульовані автором теоретико-методологічні положення, висновки і рекомендації можуть слугувати методологічною базою для формування ефективної державної політики розвитку напівпровідникової галузі, розроблення стратегій посилення конкурентних позицій України на глобальному високотехнологічному ринку, для забезпечення її інтеграції у світові та європейські ланцюги створення вартості у сфері мікроелектроніки та цифрових технологій. Наукові напрацювання, узагальнення та практичні рекомендації автора були використані: ТОВ «Елемент-Перетворювач» (довідка про впровадження №134E/08 від 08.04.2026 р.); ТОВ «Сістем Груп Лтд.» (довідка про впровадження №09/06 від 09 червня 2026 р.); а також Київським національним економічним університетом імені Вадима Гетьмана» при викладанні навчальних дисциплін «Міжнародна економіка», «Міжнародна торгівля» та «Міжнародний менеджмент» (довідка про впровадження від 14.01.2026 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, викладені здобувачем у дисертаційній роботі та виносяться на захист, одержані автором особисто.

Апробація результатів дослідження. Ключові положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на п'яти міжнародних і всеукраїнських наукових, науково-теоретичних та науково-практичних конференціях: IV міжнародній науково-практичній конференції «Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche» (м. Болонья, Італія, 29 вересні 2023 р.); V міжнародній міжнародній науково-практичній конференції «Бізнес-аналітика: моделі, інструменти та технології» (м. Київ, 5-6 березня 2024 р.); VII міжнародній конференції з економіки і соціальних наук «Exploring global perspectives» (м. Бухарест, Румунія, 13-14 червня 2024 р.); міжнародній науково-практичній

конференції «Міжнародні економічні відносини в глобальному та регіональному вимірі» (м. Ужгород, 18-19 жовтня 2024 р.); всеукраїнській науково-практичній конференції «Стратегічні напрями економічної та соціальної політики в контексті глобальних змін» (м. Одеса, 7 лютого 2025 р.).

Публікації. Ключові наукові положення та результати дисертаційного дослідження знайшли відображення у 9 наукових публікаціях здобувача загальним обсягом 4,4 д.а., підготовлених самостійно та у співпраці з іншими науковцями, обсяг опублікованого матеріалу, що належить особисто дисертанту, становить 3,0 д. а.. З них 4 статті у наукових фахових виданнях України та 5 наукових праць апробаційного характеру.

Структура та обсяг дисертації. Структура дисертаційної роботи включає вступ, три розділи, висновки та список використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 209 сторінок друкованого тексту. Ілюстративний матеріал містить 29 рисунків, поданих на 11 сторінках, та 10 таблиць, розміщені на 7 сторінках. Робота також містить 13 додатків. Список використаних джерел налічує 259 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЛОБАЛЬНОГО РИНКУ НАПІВПРОВІДНИКІВ

1.1. Високотехнологічний сектор у постіндустріальній парадигмі глобального економічного розвитку

Наприкінці XX століття та на початку XXI століття у світовому господарстві відбулися масштабні структурні зміни, пов'язані з переходом до постіндустріальної моделі розвитку. Зазначені перетворення відображають поступове віддалення від економічної системи, у межах якої переважали традиційні виробничі процеси та промислове виготовлення матеріальних благ, і формування нової економічної реальності, у якій визначальну роль відіграють інформаційні ресурси, сфера послуг та технологічні рішення. Постіндустріальний розвиток становить важливий етап еволюції економічних систем, пов'язаний із поступовою зміною структури господарської діяльності та зростанням значення інтелектуального потенціалу суспільства. У межах нової економічної моделі провідні позиції займають знання, інноваційні розробки та інформаційно-комунікаційні технології, які перетворюються на основні джерела створення вартості та підвищення конкурентоспроможності національних економік. Формування економіки, заснованої на знаннях, потребує глибокого осмислення нових умов господарювання, детального дослідження трансформаційних процесів, розроблення ефективних механізмів адаптації до змін глобального середовища. У сучасних умовах саме наукові знання, інноваційна діяльність та технологічний прогрес виступають ключовими рушійними силами економічного розвитку (табл. 1.1).

Теорії постіндустріальної економіки стали предметом уваги багатьох зарубіжних дослідників, серед яких варто відзначити таких вчених, як Д. Белл, А. Пенті, Е. Брукінг, О. Тофлер і Д. Тапскот. Соціолог Деніел Белл зробив термін «постіндустріальний» популярним у 1973 році після того, як обговорив

цю концепцію у своїй книзі «Прихід постіндустріального суспільства: підприємство у соціальному прогнозуванні»[1]. Подальший розвиток ця концепція дістала у працях О. Тофлера, який у теорії «третьої хвилі» розглянув становлення інформаційної цивілізації [2], та А. Турена, котрий одним із перших обґрунтував поняття «програмованого суспільства» [3].

Таблиця 1.1

Етапи трансформації економіки

Критерії	Доіндустріальна економіка	Промислова економіка	Постіндустріальна економіка
Визначення	Сільське господарство було основним видом економічної діяльності.	Фокус змістився у бік обробної промисловості та фабричного виробництва.	Фокус змістився з виробництва на послуги, інформацію та технології.
Основні види економічної діяльності	Переважно сільське господарство	Виробництво	Послуги та знання, засновані на
Зростання секторів	Сільське господарство	Важка промисловість	Інформаційні технології
Ключові ресурси	Праця переважно ручна, з мінімальною участю технологій.	Машини та технології відіграють важливу роль, що призводить до підвищення продуктивності.	Технології та інформація стають центральними в економічній діяльності.
Урбанізація	Більшість населення живе у сільській місцевості, прив'язана до сільськогосподарських сезонів, з обмеженою міграцією до міських регіонів.	Значна урбанізація виникає, коли люди мігрують до міст для роботи на фабриках.	Значна частина населення мешкає у міських районах, а послуги домінують в економічній діяльності.
Механізми	Обмін товарами та послугами ґрунтується на бартері або простих торгових механізмах.	Працівники одержують заробітну плату за свою працю, що створює структуровану робочу силу.	Права інтелектуальної власності, такі як авторські права чи патенти, набувають великого значення.
Продуктивність	Трудомісткий з обмеженим виробництвом.	Машинне, стандартизоване, великомасштабне виробництво товарів.	Диверсифікована робоча сила, свідок віддаленої роботи.

Джерело: складено автором за [1-12]

Основоположник теорії постіндустріального суспільства, Д. Белл, також виокремив одинадцять якісних характеристик, що визначають цю стадію

розвитку економіки. Серед них особливо важливими є: зростання значення теоретичних знань; вирішальна роль «носіїв знань», якими виступають фахівці; перехід від виробництва товарів до виробництва послуг; посилення ролі функціональних (адміністративних, культурних) та інституційних (підприємств, університетів) соціальних одиниць; формування нової економічної теорії інформації, яка трансформує традиційну трудову теорію вартості у теорію цінності, засновану на знаннях; зміна владних відносин, що виявляється у переході від аристократії та монархії до демократії та меритократії, що визначає постіндустріальне суспільство як таке, що базується на інтелектуальному потенціалі [4; 5]. Д. Тапскот, в свою чергу, визначає дванадцять головних ознак нового постіндустріального суспільства, серед яких: орієнтація на знання, використання цифрових форм представлення об'єктів, віртуалізація виробництва, інноваційна природа розвитку, інтеграція, конвергенція, динамізм і глобалізація [6]. У концепції П. Друкера постіндустріальне суспільство трактується як «суспільство знань», у якому знання перетворюються на ключовий економічний ресурс, що поступово витісняє традиційні чинники виробництва [7].

У науковій літературі увага дослідників спрямована на різні сторони змісту поняття «постіндустріальна економіка», підкреслюючи її багатовимірність і складну природу. У наукових дослідженнях постіндустріальну економіку нерідко пов'язують із переважанням сфери послуг, із суттєвим посиленням ролі знань як одного з головних ресурсів економічного зростання. Теоретичний базис для кількісного вимірювання економіки знань та інформаційного сектору було сформовано у фундаментальних дослідженнях Ф. Махлупа [8] і М. Пората [9], а сучасні підходи до її концептуалізації узагальнено у працях В. Пауелла і К. Снеллман [10]. У межах такого бачення знання розглядаються як основа формування нових видів діяльності, створення інноваційних продуктів і підвищення ефективності економічних процесів. Поряд із таким розумінням існує інша група наукових поглядів, у центрі яких перебувають технологічні

перетворення. У межах такого бачення основна увага приділяється впровадженню інновацій, активному поширенню цифрових технологій, розвитку автоматизованих систем виробництва і управління, що істотно змінюють організацію економічної діяльності. Наявність різних наукових інтерпретацій пояснюється складністю структури постіндустріальної економіки. У її межах поєднуються різноманітні процеси соціально-економічної еволюції. Серед основних напрямів змін виокремлюють трансформацію структури виробництва, переосмислення ролі праці у суспільстві, посилення впливу глобалізаційних процесів на економічний розвиток держав, зростання значущості екологічних проблем сучасного світу. Окремі дослідники пов'язують становлення постіндустріальної економіки з поступовим переходом від традиційної індустріальної моделі виробництва до економічної системи, де визначальну роль відіграють знання, інформаційні технології та інноваційна діяльність. Деякі дослідники зосереджують увагу на масштабних соціально-економічних змінах, що супроводжують формування постіндустріального етапу розвитку економіки. У межах такого бачення особливого значення набуває інтелектуальна діяльність людини, творча праця, які дедалі більше впливають на процес формування економічної вартості.

Перехід від індустріальної моделі господарювання до постіндустріальної, або цифрової (додаток А), супроводжується масштабною перебудовою структури економічної діяльності. Одним із найпомітніших результатів стало суттєве розширення асортименту товарів і послуг, виникнення нових сфер господарської активності, значне прискорення темпів технологічних змін. Паралельно в різних секторах економіки посилився розвиток інноваційних процесів, що сприяло поширенню передових технологічних рішень, нових методів управління та сучасних форм організації виробничої діяльності. Становлення постіндустріального суспільства та економічної системи на сучасному етапі супроводжується низкою ключових напрямів трансформації, які відображають глибокі зміни у виробничих структурах, характері праці, технологічному середовищі та суспільній

організації [12]. Відбувається формування цілісного світового господарського та інноваційного простору, у межах якого економічні, соціальні та технологічні процеси перебувають у тісному взаємозв'язку. Глобалізація економічної діяльності сприяє становленню інтегрованої економіки знань, де визначальне значення належить інтелектуальному потенціалу, науковим розробкам і передовим технологічним рішенням, що перетворилися на ключові чинники економічного розвитку. Постіндустріальний розвиток становить складний багаторівневий процес, у межах якого відбувається глибока перебудова економічної структури та системи соціально-економічних відносин. Його зміст розкривається через низку фундаментальних ознак, що відображають якісні зміни в організації виробництва, ролі знань, характері зайнятості населення та структурі створення економічної вартості. До основних проявів постіндустріального розвитку належать такі положення [13; 14; 15]:

- 1) домінування сектора послуг;
- 2) пріоритет знань та інформації;
- 3) цифровізація та технологічні інновації;
- 4) глобалізація;
- 5) соціальні зміни;
- 6) екологічні виклики.

Постіндустріальний етап економічного розвитку супроводжується суттєвими структурними зрушеннями, серед яких особливого значення набуває зростання ролі сфери послуг. Цей процес було вперше системно досліджено В. Фуксом у концепції «сервісної економіки» [16]. Визначальна роль технологічного прогресу як окремого чинника довгострокового економічного зростання обґрунтована у класичних працях Р. Солоу [17] та П. Ромера [18], який інтегрував технологічні зміни й нагромадження знань у моделі ендогенного зростання. Економічна активність поступово переміщується від виробничих галузей до секторів, пов'язаних із наданням різноманітних сервісів. У межах такої трансформації вагоме місце посідають

фінансові установи, освітні організації, система охорони здоров'я, галузь інформаційних технологій. Подібні зміни спричиняють переосмислення структури зайнятості населення, трансформацію організації економічних процесів, унаслідок чого формуються нові форми взаємодії між учасниками економічної діяльності. В умовах постіндустріального суспільства провідного значення набувають знання та інформація, які перетворюються на основні ресурси економічного розвитку. Саме вони стають підґрунтям для створення нових технологій, проведення наукових досліджень і здійснення наукових відкриттів. Такий розвиток сприяє формуванню високотехнологічних галузей економіки. У зв'язку з цим помітно зростає значущість системи вищої освіти, науково-дослідної діяльності, що виступає одним із головних джерел інноваційних змін. Вагому роль у формуванні постіндустріального економічного середовища відіграють процеси цифровізації та технологічного оновлення. Широке використання інформаційних технологій, автоматизація виробничих і управлінських процесів сприяють підвищенню продуктивності праці та посиленню конкурентних позицій економічних суб'єктів. Використання цифрових інструментів не обмежується лише вдосконаленням традиційних економічних процесів, але і сприяє формуванню нових моделей економічної діяльності, що поступово змінюють структуру світового господарства [19]. Важливе значення для розвитку постіндустріальної економіки має глобалізація. Поглиблення взаємозв'язків між державами сприяє інтеграції національних економік у міжнародну економічну систему. Значення інтелектуальної та творчої діяльності поступово зростає, що змінює структуру ринку праці. Поширюються нові форми зайнятості, серед яких особливого поширення набувають дистанційна робота, фріланс, гіг-економіка. У зв'язку з такими змінами виникає потреба в адаптації працівників і організацій до нових умов праці, підвищенні гнучкості організації робочих процесів, постійному професійному розвитку.

Отже, постіндустріальний розвиток супроводжується комплексом глибоких перетворень, які стосуються економічних і соціальних структур

суспільства. Зростання ролі сфери послуг, пріоритет знань і інформації, поширення цифрових технологій, поглиблення глобалізаційних процесів, соціальні трансформації ринку праці, посилення екологічної складової формують нові тенденції розвитку сучасного світу та визначають напрями подальшого економічного поступу. Економічна система постіндустріального типу, орієнтована на роботу з інформацією, розвиток знань і надання різноманітних послуг, закономірно зумовлює необхідність формування потужного високотехнологічного сектору. До його складу входять галузі, пов'язані з інформаційними технологіями, мікроелектронікою, біотехнологіями, іншими інноваційними напрямками науково-технічного розвитку. Саме високотехнологічний сектор створює основу для подальшого розвитку постіндустріальної економіки. Значення такого сектору полягає не лише у формуванні технічної бази для цифровізації та автоматизації виробничих і управлінських процесів. Високі технології сприяють активному розвитку інновацій, появі нових форм організації бізнесу, створенню сучасних економічних моделей.

У контексті постіндустріального розвитку високотехнологічні галузі відіграють визначальну роль. Високотехнологічна галузь забезпечує перехід від традиційної індустріальної економіки до системи господарювання, що заснована на знаннях, інноваційній діяльності та технологічному оновленні.

Термін «високі технології», або «хай-тек», виник у 1960-х роках і був уведений у широкий вжиток завдяки журналісту New York Times Роберту Метцу (R. Metz) [20]. У своїх публікаціях він застосовував термін для позначення нових промислових галузей, що характеризувалися значними витратами на науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи (НДДКР). До 1971 року термін був скорочений до «Hi-Tech» і поступово став асоціюватися із технологіями, що базуються на значній інноваційній та наукомісткій основі. Таким чином, «хай-тек» став синонімом наукоємних технологій, які визначають високий рівень технологічного прогресу [20].

Згідно з визначенням Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), до високотехнологічних галузей належать ті, що характеризуються високим рівнем інноваційної активності та інтенсивними науково-дослідними та дослідно-конструкторськими роботами. Категорія містить аерокосмічну промисловість, фармацевтику, мікроелектроніку, високоточні обчислення, оптичні технології, програмне забезпечення, робототехніку, нанотехнології, штучний інтелект і інформаційні технології. Зазначені сектори є рушійною силою сучасного технологічного прогресу, формуючи основу для розвитку економіки знань [21].

На сьогодні підходи до визначення сутності поняття «високотехнологічний сектор» розглядаються як вітчизняними [22-26], так і зарубіжними авторами (додаток В) [27-31]. Розглянуті наукові інтерпретації зосереджують увагу на визначальних рисах високотехнологічного сектора. Українські науковці спрямовують дослідницьку увагу на пристосування світових технологічних тенденцій до реалій національного господарства, акцентуючи значення інноваційної активності підприємств і впровадження передових технологічних рішень у виробничі процеси, що історично сформувалися в традиційних галузях економіки. У працях іноземних дослідників високотехнологічна сфера розглядається передусім як підґрунтя для формування нових ринкових сегментів, зміцнення конкурентних позицій економік різних країн та підтримання довгострокової економічної стійкості в умовах посилення глобальних викликів. У наукових публікаціях зарубіжних авторів високотехнологічний сектор визначається ключовою складовою сучасної економічної структури, яка об'єднує галузі, зорієнтовані на створення, розвиток і впровадження передових технологічних рішень. До структури зазначеного сектора входять різноманітні напрями діяльності, серед яких розвиток систем штучного інтелекту, біотехнологічні дослідження, створення високопродуктивних обчислювальних комплексів, інформаційні технології, робототехнічні системи, технології виробництва чистої енергії.

М.С. Бхатія надає визначення високотехнологічного сектору як сукупності галузей, що займаються розробкою та виробництвом передових технологічних продуктів і послуг [27]. До таких галузей автор відносить штучний інтелект, біотехнології та передові обчислення. Основними рисами цього сектора, на думку автору, є швидкі темпи інновацій та високі рівні інвестицій у наукові дослідження та дослідно-конструкторські роботи (ДіР).

Зжао Ксінг визначає сектор високих технологій як сукупність галузей, які застосовують передові технології для створення нових продуктів і послуг, які вирізняються високим рівнем інтелектуальної власності і діяльністю, що базується на знаннях [28]. За його визначенням, сектор високих технологій відзначається використанням новітніх технологій для інноваційних рішень.

П.С. Пател зосереджує увагу на високотехнологічних підприємствах, що впроваджують передові технологічні рішення в операційні процеси та власну продукцію задля істотного зростання результативності діяльності разом із формуванням стійких конкурентних переваг [29]. У наукових напрацюваннях дослідника простежується орієнтація високотехнологічного сегмента на безперервний технологічний поступ, модернізацію виробничих практик і системне вдосконалення.

И. С. Лі спільно з М. Х. Лее розглядають високотехнологічний сектор як сукупність інноваційно спрямованих галузей, серед яких інформаційні технології, робототехніка, сфера чистої енергетики [30; 32]. Дослідники наголошують на визначальному значенні зазначеного сектора для подолання глобальних викликів і підтримання траєкторії сталого розвитку, що посилює усвідомлення його місця в структурі сучасної економіки.

М. С. О'коннор поєднує в своєму визначенні галузі, що фокусуються на передових технологічних рішеннях і інноваціях, з акцентом на цифрову трансформацію, кібербезпеку та виробництво наступного покоління [31]. Автор акцентує увагу на тому, що сектор активно сприяє розвитку нових технологій та збереженню конкурентних переваг у глобальному масштабі.

Таким чином, комплексний аналіз визначень поняття «високотехнологічний сектор» надає можливість виявити основні напрямки його розвитку, зрозуміти роль сектору у формуванні нової економічної парадигми, яка базується на інноваціях, знаннях та інформаційних технологіях.

Економічна система будь-якої держави визначається насамперед рівнем розвитку її високотехнологічного сектору, який об'єднує види економічної діяльності, що характеризуються інтенсивним впровадженням інноваційних технологій. Значення цього сектору полягає в його здатності стимулювати розвиток суміжних галузей національної економіки шляхом зростання попиту на сучасні виробничі ресурси - більш продуктивне обладнання, новітні матеріали та комплектуючі. Визначення частки високотехнологічного сектору у структурі економіки дозволяє розрізняти країни за рівнем економічного розвитку, виділяючи розвинені держави та ті, що перебувають у процесі розвитку. Основні характеристики та аспекти високотехнологічного ринку включають наступні елементи (рис. 1.1).

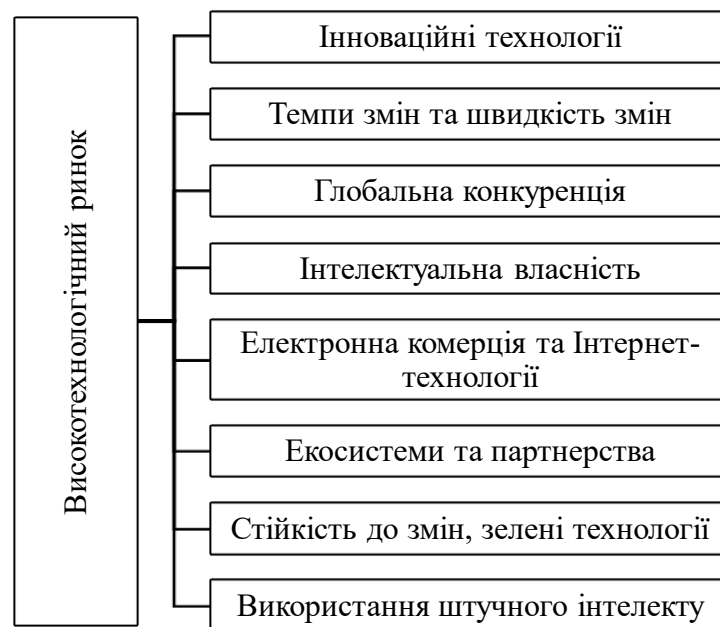


Рис. 1.1. Ключові складові високотехнологічного ринку

Джерело: складено автором за [33-37]

Високотехнологічний сектор відзначається глобальним характером своєї діяльності, де підприємства конкурують на міжнародних ринках, пропонуючи різноманітні технологічні рішення. Такі компанії активно захищають свої інновації за допомогою патентів та інших інструментів інтелектуальної власності, що є стратегічним чинником успіху на глобальному ринку [38]. Ключову роль у діяльності підприємств цього сектору відіграють інтернет-технології та електронна комерція, які полегшують процеси продажу, маркетингу та обслуговування клієнтів [39].

Особливу увагу в сучасному високотехнологічному секторі приділяють розвитку штучного інтелекту, застосування якого містить широкий спектр сфер - від автоматизації виробничих процесів до розробки інтелектуальних асистентів та аналітичних систем. Поряд з цим, високотехнологічні компанії все більше орієнтуються на використання «зелених» технологій та принципів стійкості, що стають важливою частиною їхньої стратегії [40].

Розвиток штучного інтелекту та «зелених» технологій трансформує самі засади конкуренції у високотехнологічному секторі, де здатність швидко впроваджувати інтелектуальні алгоритми та орієнтація на сталість стають ключовими конкурентними перевагами. Висока концентрація інтелектуального капіталу та значні інвестиції у дослідження і розробки зумовлюють випереджальні темпи зростання цього сектору порівняно з традиційними галузями. Саме тому рівень розвитку високих технологій дедалі частіше розглядається як індикатор конкурентоспроможності національної економіки.

Сектор високих технологій відіграє важливу роль у сучасній економіці, стимулюючи інновації, економічне зростання та глобальну конкурентоспроможність.



Рис. 1.2. Ключові функції високотехнологічного сектору в сучасній економіці

Джерело: складено автором за [41-46]

Високотехнологічний сектор економіки виконує низку взаємопов'язаних функцій, які визначають його провідну роль у формуванні постіндустріальної моделі розвитку. До найважливіших з них належать наступні:

1. Сфера високих технологій займає центральне місце у проведенні наукових досліджень і виконанні дослідно-конструкторських робіт. У межах наукових пошуків створюються нові технологічні рішення, сучасні види продукції, інноваційні послуги. Завдяки здатності породжувати оригінальні технічні ідеї та переводити їх у практичну площину високотехнологічні компанії формують основу технологічного розвитку майбутніх десятиліть. Результати інноваційної діяльності поширюються далеко за межі окремих секторів господарства, впливаючи на загальну динаміку економічного розвитку. Технологічні розробки, створені у межах високотехнологічного

виробництва, активно застосовуються у медицині, промисловому виробництві, енергетичній сфері, транспортній галузі, у багатьох інших напрямках господарської діяльності. Їх використання сприяє прискоренню технічного прогресу, підсилює міжнародну конкурентну позицію економік. Найбільші світові технологічні корпорації розробляють проривні рішення у сферах штучного інтелекту, біотехнологічних досліджень, квантових обчислювальних систем, інших напрямках сучасної науки.

2. Поширення високотехнологічних виробництв сприяє зростанню продуктивності праці завдяки активному використанню автоматизованих систем, удосконаленню організації виробництва, створенню більш складних і технологічно досконалих товарів. У результаті подібних процесів підвищується економічна ефективність господарської діяльності, збільшуються обсяги виробництва, розширюються можливості економічного піднесення. Одним із важливих наслідків розвитку технологічно складних галузей стає поява робочих місць із високим рівнем оплати праці. Робота у подібних сферах потребує спеціалізованих знань, технічних умінь, ґрунтовної освіти. Саме тому розвиток технологічного сектору сприяє формуванню висококваліфікованої робочої сили, підтримує становлення економіки, що базується на знаннях.

3. Значення високотехнологічної продукції для формування експортного потенціалу та посилення міжнародних позицій держави. Світові ринки протягом тривалого часу зберігають стійку потребу у продукції, створеній у межах наукоємних виробництв. Інноваційні товари, що надходять у міжнародну торгівлю, приносять державам значні валютні надходження. Ідеться про виготовлення напівпровідникових компонентів, створення сучасних систем кіберзахисту, розвиток телекомунікаційних рішень нового покоління. Розбудова подібних галузей формує технологічну основу сучасної економіки, визначає здатність держави брати активну участь у міжнародних інноваційних процесах. Володіння провідними технологічними компетенціями безпосередньо пов'язане з рівнем економічної незалежності

країни. Розвиток власної науково-технологічної бази сприяє зміцненню оборонного потенціалу, знижує залежність від імпорту складної техніки та високотехнологічного обладнання, підтримує стабільність довгострокового розвитку національної економіки. Поряд із економічними результатами контроль над стратегічно важливими технологіями зміцнює міжнародні позиції держави.

4. Становлення сучасного цифрового середовища безпосередньо пов'язане з інтенсивним розвитком наукоємних галузей економіки. Формування такої інфраструктури спирається на поєднання програмних комплексів, апаратних платформ, телекомунікаційних мереж, хмарних систем зберігання та опрацювання інформації, різноманітних інформаційних сервісів, інших технічних елементів. Сукупність подібних компонентів утворює цілісний простір цифрової взаємодії, у межах якого здійснюється значна частина сучасної економічної діяльності. Інформаційні технології поступово входять до структури виробничих процесів, сфери послуг, торговельних операцій, фінансових розрахунків, систем управління підприємствами. Поширення цифрових рішень сприяє підвищенню результативності економічної діяльності, вдосконаленню організації бізнес-процесів, розширенню потенціалу інноваційного розвитку компаній. Активне формування сучасних мереж зв'язку стимулює інтенсивне зростання електронної комерції, розвиток фінансових сервісів, що базуються на використанні інформаційних технологій, поширення дистанційних форматів взаємодії з клієнтами. Подібні процеси, в свою чергу, сприяють появі нових напрямів економічної активності, тісно пов'язаних з використанням сучасних технологічних рішень. Посилення значення інформаційних технологій у господарській сфері поступово змінює структуру взаємозв'язків між учасниками ринку. Підприємства, споживачі, інвестори, фінансові установи дедалі частіше взаємодіють за допомогою електронних платформ, що формує нові форми економічної співпраці та інші способи організації ділових відносин.

5. Значну частину уваги високотехнологічні підприємства спрямовують на розроблення рішень, покликаних підтримувати природну рівновагу. Серед результатів подібної діяльності важливе місце займають системи використання відновлюваних джерел енергії, обладнання з високим рівнем енергоощадності, методи зменшення обсягів промислових відходів, технологічні рішення, спрямовані на послаблення негативного впливу виробничих процесів на довкілля. Упровадження інновацій у сфері технологій відіграє важливу роль у розв'язанні масштабних проблем сучасного світу, серед яких зміна клімату, поступове виснаження природних ресурсів, погіршення стану екологічних систем. Важливе місце належить соціальному аспекту технологічного розвитку, пов'язаному зі створенням рішень, спрямованих на підвищення якості життя населення. Яскравими прикладами виступають сучасні медичні розробки, цифрові освітні платформи, новітні системи комунікації. Поширення подібних технологій сприяє розв'язанню важливих суспільних проблем, розширює доступ населення до знань, медичних послуг, інформаційних ресурсів, сприяє зростанню загального рівня добробуту. Важливе місце високотехнологічна продукція посідає у формуванні міжнародних виробничих мереж. Напівпровідникові елементи, мікроелектронні компоненти та інші результати діяльності високотехнологічних галузей становлять основу функціонування глобальних виробничих ланцюгів.

6. Вироби галузей, пов'язаних із застосуванням передових технологічних рішень, серед яких важливе місце посідають напівпровідникові структури та мікроелектронні вузли, формують фундамент міжнародних виробничих систем. Подібні компоненти використовуються у великій кількості секторів господарства - починаючи з автомобілебудування та закінчуючи виготовленням медичної апаратури. Порухення безперервності постачання зазначеної продукції здатне спричинити серйозні ускладнення для діяльності світового господарства, що підтверджує її визначальну роль у глобальних виробничих процесах

7. Сфера передових технологій посідає провідне місце у глобальному суперництві держав за економічне та технологічне лідерство. Значна кількість країн спрямовує значні ресурси на зміцнення власних можливостей у галузі створення стратегічно важливих технологічних рішень, розвиток науково-технічних досліджень. Розширення потенціалу у високотехнологічних напрямках дає державам змогу посилювати конкурентоспроможність у світовому господарстві, оскільки володіння передовими технологіями дедалі більше визначає розподіл економічного впливу у міжнародному середовищі. Галузі, що базуються на використанні новітніх технологічних досягнень, забезпечують не лише поточне зростання економіки, але і створюють основу для появи нових видів господарської діяльності.

Сектор передових технологій посідає одне з ключових місць серед рушійних сил сучасного економічного піднесення. Використання цифрових інструментів забезпечило зростання результативності операційної діяльності, прискорення інноваційних процесів, удосконалення взаємодії бізнес-структур із клієнтами. Поширення подібних технологічних рішень сприяє також формуванню екологічно відповідальних моделей виробництва, що проявляється у зростанні ролі «зелених» технологій, енергоощадних систем, ресурсозберігаючих методів організації виробництва. Розвиток високотехнологічних галузей впливає також на структуру зайнятості населення. Поступово зростає попит на фахівців із високим рівнем професійної підготовки, що стимулює розвиток системи освіти, програм професійної перепідготовки, підвищення рівня кваліфікації працівників. У результаті формується економічна модель, заснована на знаннях, яка підтримує високий рівень доходів населення, сприяє зростанню добробуту, підвищує загальні стандарти життя. Поряд із економічним значенням сектор високих технологій має важливе стратегічне значення для держав.

Сфера застосування напівпровідників і мікроелектронних компонентів давно вийшла за межі використання виключно у комп'ютерній техніці. Їх значення поширюється на численні напрями сучасної електроніки та

телекомунікацій. Розвиток мобільного зв'язку від мереж четвертого покоління до систем п'ятого покоління значною мірою став можливим завдяки досягненням у галузі виробництва напівпровідникових елементів. Саме технологічний прогрес у сфері мікроелектроніки створив передумови для впровадження телекомунікаційної інфраструктури нового типу. Мережі п'ятого покоління забезпечують значно вищу швидкість передавання даних, скорочення часу затримки сигналу, здатність підтримувати одночасне підключення великої кількості електронних пристроїв.

Поширення цифрових технологій сприяло появі нових форм організації підприємницької діяльності. Серед них особливе місце займає платформна модель економіки. Цифрові платформи, які поєднують споживачів із постачальниками товарів або послуг, поступово перетворилися на важливий елемент сучасного економічного середовища [42]. Системний вплив цифрових технологій на продуктивність, структуру зайнятості та організацію виробництва досліджено у працях Е. Брінйолфссона і Е. Макафі [43] та К. Шваба [44], а феномен зростання частки нематеріальних активів у створенні вартості концептуалізовано Д. Куа у понятті «невагомої економіки» [45]. Інноваційний розвиток постіндустріальної економіки значною мірою спирається на досягнення у галузі напівпровідникових технологій та мікроелектроніки.

Напівпровідникові технології забезпечують необхідні обчислювальні ресурси для функціонування систем машинного навчання. Графічні процесори, спеціалізовані тензорні процесори призначені для виконання складних обчислювальних операцій, необхідних для роботи нейронних мереж. Подібні технічні можливості відкривають нові перспективи розвитку промислового виробництва, медицини, наукових досліджень та інших сфер економічної діяльності [46]. У виробничій сфері поширення роботизованих комплексів сприяло формуванню так званих інтелектуальних фабрик. У межах подібних підприємств виробничі процеси здійснюються за допомогою автоматизованих систем, здатних швидко реагувати на зміну ринкового

попиту. Гнучка організація виробництва створює можливості для підвищення продуктивності праці, покращення якості виготовленої продукції, зниження виробничих витрат.

Напівпровідникові технології разом із мікроелектронікою утворили основу сучасної технологічної епохи. Поряд із позитивними зрушеннями глобальні ланцюги постачання у напівпровідниковій галузі стикаються з низкою серйозних проблем. Геополітична напруженість, торговельні обмеження, загрози порушення прав інтелектуальної власності створюють ризики для стабільності міжнародних поставок. У таких умовах особливої ваги набуває розроблення стратегій підвищення стійкості галузі. Розширення міжнародної співпраці, реалізація довгострокових інвестиційних програм, розвиток партнерства між державами здатні зміцнити виробничо-логістичні ланцюги, підтримати інноваційний розвиток і посилити конкурентні позиції напівпровідникової індустрії на світовому ринку [47].

Отже, напівпровідникові технології разом із мікроелектронікою становлять не лише складову електронних пристроїв, а виступають одним із ключових факторів глибоких змін у сучасній економічній системі, розвиток якої поступово спрямовується у напрямі постіндустріальної моделі. Значення подібних технологій виходить далеко за межі окремих технічних рішень, оскільки саме вони створюють основу для масштабних економічних перетворень. Сфера їх впливу поширюється на широкий спектр напрямів господарської діяльності. Використання напівпровідникових елементів та мікроелектронних компонентів лежить в основі розвитку цифрової інфраструктури, телекомунікаційних систем, автоматизованих виробничих комплексів, фінансових сервісів, науково-дослідної діяльності, міжнародних виробничих ланцюгів постачання, технологічних рішень, спрямованих на підтримання екологічної рівноваги. У процесі подальшого розвитку світової економіки значення подібних технологій поступово зростатиме, визначаючи напрями трансформації суспільства та господарських систем, масштаби яких ще не повністю усвідомлені. Фактично напівпровідникові технології разом із

мікроелектронікою формують основу економіки нового типу, побудованої на знаннях, інноваціях та інтенсивному використанні високих технологій. Саме вони створюють фундамент цифрових технологічних рішень, без яких неможливе повноцінне функціонування сучасних галузей господарства, серед яких виробництво, телекомунікації, система охорони здоров'я, транспортна інфраструктура, енергетика та багато інших сфер економічної діяльності. Важливу роль відіграють напівпровідникові компоненти, такі як мікропроцесори, що виконують роль центрального елементу комп'ютерних систем та більшості сучасних електронних пристроїв. Технологічні розробки подібного типу становлять основу автоматизації виробничих процесів, поширення роботизованих комплексів, вдосконалення організації трудової діяльності на підприємствах. Використання мікроелектронних компонентів спричиняє зростання продуктивності праці, підвищення рівня якості виготовленої продукції, появу нових бізнес-моделей, які поступово поширюються у різноманітних секторах економіки. Ефективніше використання ресурсів, що стає можливим завдяки впровадженню подібних систем, формує передумови для стабільного економічного розвитку в умовах жорсткої глобальної конкуренції. Прогрес у сфері мікроелектроніки стимулює інтенсивне впровадження інноваційних рішень у галузі інформаційних технологій, унаслідок чого з'являються нові можливості для економічного розвитку, створення робочих місць у високотехнологічних секторах. Сфера виробництва напівпровідникових елементів має значну стратегічну вагу з огляду на потреби національної безпеки, адже велика кількість сучасних військових систем, телекомунікаційної інфраструктури та навігаційних комплексів базується на складних електронних компонентах. Наявність власних виробничих потужностей у галузі напівпровідників формує передумови для технологічної самостійності держави, що набуває особливої актуальності за умов сучасних глобальних викликів. Отже, напівпровідникові компоненти разом із мікроелектронними технологіями постають потужним рушієм трансформацій у світовій економіці, забезпечуючи перехід до нових

форм організації виробництва, управлінських процесів і моделей споживання, властивих постіндустріальному етапу розвитку.

Викладене дає підстави розглядати дослідження високотехнологічного сектору як таке, що потребує опори одразу на кілька теоретичних традицій - економіку знань, концепції цифрової трансформації, інноваційну динаміку та аналіз глобальних ланцюгів створення вартості. На перетині цих підходів напівпровідникова галузь постає не просто однією з наукоємних сфер, а вузлом, навколо якого вибудовується сучасна технологічна екосистема і через який реалізуються стратегії технологічного лідерства держав та провідних корпорацій. Показово, що сама природа цієї галузі за останні десятиліття змінилася: з обслуговуючої ланки виробництва мікроелектроніка перетворилася на той структурний центр техноекономічної системи, від якого залежать і розстановка сил у міжнародній конкуренції, і розподіл технологічної ренти, і баланс геоекономічного та геотехнологічного впливу. Саме ця обставина й зумовлює доцільність докладного аналізу напівпровідникової індустрії у наступних частинах роботи.

1.2. Глобальні детермінанти розвитку світової напівпровідникової індустрії

Теоретичною базою дослідження детермінант розвитку економічної моделі індустрії напівпровідників виступає сукупність концептуальних підходів, що сформувалися у межах інноваційно-еволюційної економіки та теорії галузевих ринків. Шумпетеріанська теорія інноваційних циклів [87] обґрунтовує закономірність зміни поколінь технологічних рішень як рушій структурних трансформацій галузі та визначає характер циклічної динаміки виробничо-інноваційної активності. Концепція техноекономічних парадигм К. Перес [86] дозволяє інтерпретувати перехід напівпровідникової промисловості до нових технологічних вузлів через категорію зміни базисних

інновацій та формування відповідних інституційних рамок. Теорія секторальних систем інновацій Ф. Малерби [85] розкриває роль взаємодії суб'єктів галузі (виробників, наукових установ, регуляторів, споживачів) у формуванні специфічних детермінант технологічного розвитку, тоді як теорія конкурентних переваг М. Портера [67] створює аналітичне підґрунтя для розгляду ролі державної політики, факторних умов та структури галузевої конкуренції як визначальних чинників позиціонування національних економік у глобальному ринку. Загальнометодологічну рамку дослідження доповнюють концепція національних і секторальних систем інновацій, узагальнена у працях К. Фрімена і Л. Соете [68] та за редакцією Ч. Едквіста [69], а також ланцюгова модель інноваційного процесу С. Клайна і Н. Розенберга [70], що розкриває нелінійний характер взаємодії науки, розробок і виробництва у високотехнологічних галузях. Динаміку технологічної зміни в галузі доцільно інтерпретувати крізь призму теорії дифузії інновацій Е. Роджерса [71], концепції підривних інновацій К. Крістенсена [72] та моделі архітектурних інновацій Р. Хендерсон і К. Кларка [73], емпіричною основою якої слугувало дослідження саме напівпровідникового літографічного обладнання. Сучасні організаційні форми створення інновацій найбільшою мірою розкриваються у концепції відкритих інновацій Г. Чесбро [74] та моделі «потрійної спіралі» взаємодії держави, науки і бізнесу Г. Іцковіца і Л. Лейдесдорфа [75], тоді як здатність фірм до акумуляції зовнішніх знань пояснюється теорією абсорбційної здатності В. Коена і Д. Левінталя [76]. Багаторівневу перспективу технологічних переходів обґрунтовано Ф. Гілзом [77], механізми присвоєння інноваційної ренти - Д. Тісом [78], а закономірності технологічної зміни у XX столітті - Д. Моурі і Н. Розенбергом [79]. Активну роль держави у формуванні технологічних траєкторій високотехнологічних галузей обґрунтовано у концепції «підприємницької держави» М. Маццукато [80]. Специфіку інноваційного розвитку власне напівпровідникової індустрії, її циклічну природу та трансформацію під впливом криз розкрито у дослідженнях К. Браун і Г. Ліндена [81], Дж. Махера, Д. Моурі і Д. Ходжеса

[82], а також у працях, присвячених структурі глобальних ланцюгів створення вартості галузі [83] та новітній політиці підтримки передового виробництва [84]. Зазначені теоретичні підходи становлять основу для подальшої систематизації конкретних детермінант розвитку економічної моделі напівпровідникової галузі.

Напівпровідникова промисловість відрізняється серед інших галузей не лише інтенсивним технологічним прогресом, проте і специфічною циклічною динамікою, що визначає структуру ринку. Напівпровідники, як продукти високих технологій, характеризуються високою швидкістю інновацій, що зумовлює швидке моральне старіння продукції. Внаслідок підвищується важливість значних та постійно зростаючих інвестицій у науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи. Наприклад, якщо в 1970 році частка інвестицій в ДіР складала близько 8% від доходів компаній, то на сьогодні показник досяг майже 20% [63]. Такий значний приріст інвестицій суттєво сприяв прискоренню інноваційних процесів і дозволив галузі гнучко реагувати на зростаючий та різноманітний попит споживачів. Наслідком цього процесу стало швидке оновлення продуктового портфеля, що супроводжувалося появою нових поколінь продукції та поступовим зникненням попередніх.

У межах шумпетеріанської традиції [87] циклічні коливання трактуються як прояв процесу творчого руйнування, у межах якого впровадження базисних інновацій спричиняє хвильове перетворення виробничої структури галузі. Концептуальна оптика К. Перес [86] пояснює подібну хвильову динаміку зміною техноекономічних парадигм, кожна з яких супроводжується періодом активного інвестування у нові виробничі рішення з подальшою стабілізацією попиту та пропозиції на досягнутих технологічних рівнях. Теорія базисних інновацій Г. Менша [65], своєю чергою, доповнює зазначений підхід через положення про концентрацію радикальних інновацій у періоди економічних стагнацій, що відповідає емпірично спостережуваній поведінці напівпровідникової індустрії.

Із початку 1990-х років аналітична компанія IC Insights, що спеціалізується на дослідженнях ринку напівпровідників, зафіксувала наявність циклічних коливань, які відчутно впливають на розвиток галузі [88]. Такі цикли передбачають етапи розширення виробничих потужностей у поєднанні зі зниженням цін і скороченням інвестиційної активності, після чого настають протилежні періоди зі зміною динаміки показників у зворотному напрямі. Подібна мінливість значною мірою визначає ринкову поведінку компаній, спонукаючи бізнес завчасно прогнозувати трансформації кон'юнктури та перебудовувати операційні моделі відповідно до поточної ситуації на ринку.

Брак постачання напівпровідникової продукції наочно засвідчив визначальну роль зазначених компонентів для світового господарства. Від автомобілебудування до виробництва комп'ютерної техніки, вузькі місця у виробничо-логістичних ланцюгах підтвердили глибоку залежність глобальної економіки від стабільності та безперервності забезпечення чіпами.

У зв'язку з очікуваним зростанням попиту на чіпи впродовж наступного десятиліття, доцільно зосередитися на аналізі основних детермінантів розвитку економічної моделі індустрії напівпровідників. Детермінанти можна умовно розділити на пандемію COVID-19 та її наслідки для галузі, технологічні досягнення, ринкову динаміку, геополітичні чинники, політичні та нормативні рамки, наявність кваліфікованої робочої сили та ресурсів, вплив на екологію (рис. 1.3). Кожен із перелічених чинників має вагоме значення для вироблення довгострокових орієнтирів розвитку галузі та підтримання її стійкості перед глобальними викликами.

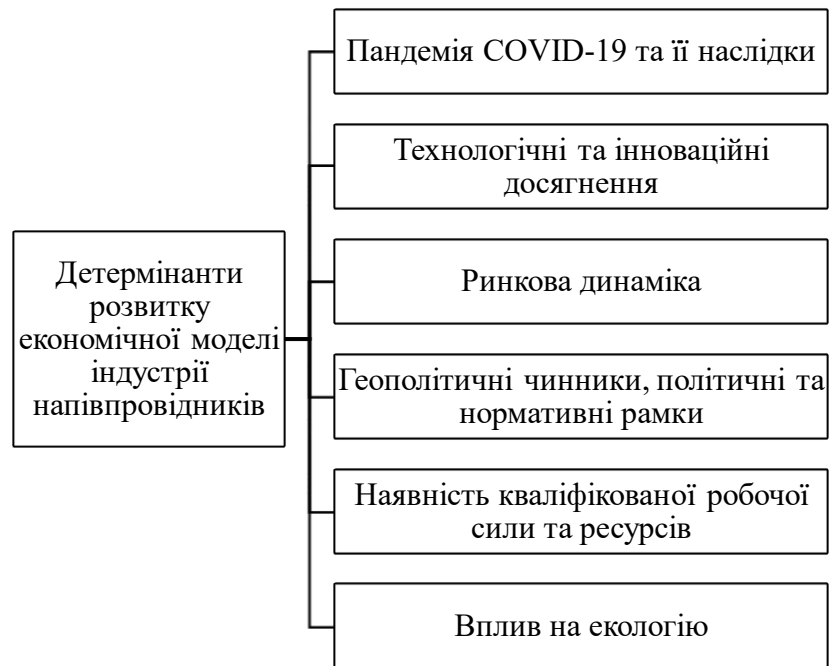


Рис. 1.3. Детермінанти розвитку економічної моделі індустрії напівпровідників

Джерело: складено автором за [88-117]

Для комплексного охоплення чинників які визначають структурну динаміку галузі, детермінанти трансформації глобального ринку напівпровідників доцільно систематизувати за п'ятьма ключовими групами: технологічні (зміна технологічних поколінь виробництва, мініатюризація елементної бази, розвиток квантових і нейроморфних архітектур), економічні (циклічна динаміка ринкової кон'юнктури, концентрація капіталу, інтенсивність інвестицій у дослідження і розробки), інституційні (національні програми промислової політики, режими експортного контролю, механізми державної підтримки галузі), ресурсні (доступ до критичних матеріалів, кваліфікованого людського капіталу та виробничої інфраструктури) та геополітичні (загострення міждержавного технологічного суперництва, фрагментація глобальних ланцюгів створення вартості, реалізація національних стратегій технологічного суверенітету). Зазначена систематизація дозволяє розкрити багатовимірний характер чинників, що

детермінують розвиток економічної моделі напівпровідникової індустрії в умовах глобальної нестабільності.

У 2020 році, на тлі різкого зростання попиту як з боку споживачів, так і з боку корпоративних клієнтів, напівпровідникові компанії зафіксували значне підвищення прибутковості, що досягло високих двозначних показників. Зростання відбувалося попри численні виклики, серед яких основними були порушення у ланцюгах постачання та посилення розбіжностей у світовій торгівлі. Ситуація підтвердила важливість адаптації та гнучкості у стратегіях розвитку компаній у контексті непередбачуваних глобальних змін [89].

Стрімке підвищення попиту на електронні компоненти не супроводжувалося відповідним нарощуванням виробничих потужностей, через що розрив між потребами ринку та можливостями виробництва в умовах пандемії швидко зростав. Реакцією учасників індустрії стало активне укрупнення ринку: виробники мікросхем почали об'єднувати ресурси, прагнучи отримати переваги великомасштабного виробництва, скоротити витрати та посилити конкурентні позиції. У результаті відбулося помітне посилення процесів консолідації, яке відіграло важливу роль у подальшій еволюції галузі та закріпленні позицій провідних компаній на світовому ринку. Об'єднання капіталу і технологічних можливостей надало підприємствам змогу оперативніше реагувати на перебої з постачанням, адаптуватися до нестабільних коливань попиту, створило передумови для довготривалої стійкості та розвитку інновацій у середовищі, що постійно змінюється [90].

Трансформації періоду 2019-2020 рр. сприяли вирівнюванню ринкової ситуації в умовах глобальної нестабільності та заклали підґрунтя для подальшого інноваційного зростання разом із виробленням нових стратегічних орієнтирів. Загострення міжнародних торговельних суперечностей у поєднанні зі світовим дефіцитом мікročіпів, що виник під час пандемічної кризи [91], спричинило серйозні випробування для глобальних ланцюгів постачання напівпровідників. Напівпровідникові компоненти

становлять технологічну основу широкого спектра сучасних систем - від інформаційних мереж і телекомунікацій до складних оборонних рішень, унаслідок чого стратегічна вага індустрії неухильно зростає.

Сполучені Штати Америки, Китайська Народна Республіка та Європейський Союз ведуть активну боротьбу за лідерство у секторі, усвідомлюючи його значення для забезпечення національної безпеки разом із довгостроковим економічним розвитком. Конкуренція проявляється у масштабних інвестиціях у виробничі потужності, формуванні державних програм підтримки галузі, ухваленні політичних рішень і впровадженні регуляторних механізмів, спрямованих на створення надійних каналів постачання мікročіпів та зменшення залежності від зовнішніх постачальників, здатних створювати ризики для економічної стабільності. У подібних умовах досягнення технологічної самостійності разом зі зміцненням стійкості виробництва напівпровідників перетворюється на стратегічний пріоритет для значної кількості держав, які прагнуть посилити власні позиції у світовій економіці та геополітичному середовищі [92].

Важливого значення набуває розроблення національних програм розвитку галузі, підтримка локальних виробничих потужностей, формування сучасної інфраструктури для випуску мікроелектроніки, інвестування у наукові дослідження і технологічні розробки, здатні забезпечити появу нових інноваційних рішень. За таких обставин формування власної бази виробництва напівпровідників перетворюється на один із ключових елементів державної економічної стратегії в умовах глобального технологічного суперництва.

Після завершення холодної війни майже весь спектр передових наукових розробок разом із виробництвом складних напівпровідників зосереджувався у невеликій групі держав. Провідні центри індустрії сформувалися у Сполучених Штатах Америки, країнах Європи, Японії, Південній Кореї та на Тайвані. Саме там сформувався кадровий потенціал і накопичилися технологічні знання, необхідні для створення складних мікросхем, здатних інтегруватися у військові системи високого рівня

складності. Значна різниця у темпах розвитку напівпровідникової індустрії між державами призвела до нерівномірного розподілу висококваліфікованої робочої сили, здатної працювати у сфері мікроелектроніки. Така асиметрія відкривала окремим країнам можливість зміцнювати власні позиції у технологічному суперництві завдяки концентрації людського капіталу. Певні держави сформували вузьку спеціалізацію у межах індустрії. Південна Корея сформувала потужну виробничу базу у сегменті напівпровідників пам'яті, тоді як підприємства зі Сполучених Штатів Америки разом із європейськими виробниками утримують вагомі позиції на ринку аналогових мікросхем і компонентів зі змішаними сигналами. Подібна галузева спеціалізація стала результатом тривалих інвестицій у наукові дослідження, інженерну підготовку кадрів та розвиток промислової інфраструктури. Зростання суперництва підвищило ризик втрати технологічної переваги з боку США разом із партнерами, тоді як потенційні суперники отримують можливість застосовувати новітні мікроелектронні технології для модернізації власних оборонних систем. Сполучені Штати Америки підтримують офіційні військово-політичні союзи з Японією та Південною Кореєю, розвивають тісні, хоча формально не закріплені, партнерські відносини з Тайванем. У подібних умовах різні військово-політичні угруповання намагаються створити потужну базу виробництва передових напівпровідників, оскільки технологічне лідерство у сфері мікроелектроніки перетворюється на важливий компонент сучасної гонки озброєнь. Останніми роками Китай значно збільшив витрати на оборону, впроваджуючи новітні технологічні розробки, серед яких будівництво авіаносців разом із випробуванням гіперзвукових ракет. Подібна модернізація військової техніки засвідчує вагоме значення напівпровідникових технологій у сфері економіки, формуванні стратегічного потенціалу держави та впливі на баланс сил у міжнародному середовищі [93].

Активізація військово-політичного суперництва простежується і в інших країнах регіону. Японія оголосила намір збільшити оборонний бюджет у два рази [94]. Південна Корея створила підводні човни, оснащені

балістичними ракетами [95]. Тайвань збільшив тривалість військової служби за призовом для молодих чоловіків утричі [96]. Австралія, Сполучені Штати Америки разом із Великою Британією сформували партнерство AUKUS з метою спільного будівництва атомних підводних човнів [97]. Поки уряди держав Індो-Тихоокеанського регіону спрямовують значні ресурси на посилення військового потенціалу, значна увага приділяється також контролю над ключовими технологічними напрямками, серед яких виробництво мікросхем займає центральне місце. Конкуренція між країнами стимулює масштабні інвестиції у власні напівпровідникові індустрії.

Китай став одним із найбільш активних учасників цього процесу, розпочавши поточний раунд субсидій на мікросхеми ще у 2014 році. Визначивши мікросхеми як ключовий елемент своєї промислової політики «Зроблено в Китаї 2025», уряд Китаю започаткував Національний інвестиційний фонд промисловості інтегральних схем. Фонд був створений для фінансування стратегічних інвестицій у напівпровідникову промисловість, для підтримки науково-дослідних робіт, розвитку виробничих потужностей та забезпечення технологічного лідерства в умовах глобальної конкуренції. Тут підкреслюється важливість мікросхем як основного технологічного компонента і ресурсу, що визначає конкурентоспроможність та безпеку держави на міжнародній арені [98].

Враховуючи стан розвитку світового ринку мікросхем Японія розгорнула комплекс стратегічних кроків. Дані кроки були спрямовані на підтримку іноземних виробників напівпровідників, TSMC і Micron Technology. Передбачено фінансування спорудження нових виробничих майданчиків та оновлення наявних потужностей, створення нового виробника мікросхем - Rapidus, зорієнтованого на освоєння передових технологічних рішень у чипмейкінгу. Тривала нестача чіпів зумовила перегляд стратегічних орієнтирів у багатьох країн світу з метою скоротити залежність від імпорту та наростити власні виробничі спроможності. Сформовані тенденції посилили виробничий націоналізм і стимулювали запуск нових ініціатив. Ці ініціативи

були націлені на збільшення частки внутрішнього виготовлення напівпровідників. Так Сполучені Штати Америки та Європейський Союз запровадили «Закони про чіпи», які передбачають виділення десятків мільярдів доларів на фінансування проєктів у сфері мікросхем. Ключове призначення зазначених рішень полягає у залученні інвестицій у напівпровідникове виробництво, що має зміцнити стратегічну самостійність країн і посилити їхню конкурентоспроможність на світовій арені.

Сучасна динаміка напівпровідникової індустрії супроводжується новими викликами, що істотно змінюють її спрямованість і систему пріоритетів. «Війна мікросхем» дедалі відчутніше впливає на політичний і безпековий порядок денний, висуваючи питання ланцюгів постачання та досліджень у сфері напівпровідників на провідні позиції. Для науковців і компаній ситуація перетворюється на складне випробування, пов'язане з необхідністю поєднання глобального технологічного поступу з національними інтересами. Наростання політичної напруги разом із поглибленням геополітичних протистоянь призводить до роз'єднання наукових досліджень і виробничої кооперації у сфері напівпровідників, оскільки компанії та дослідницькі установи дедалі частіше зосереджують увагу на національній безпеці та прагненні економічної самостійності. Подібні явища мають історичні відповідники: поява перших мікросхем стала наслідком військово-технологічного суперництва та космічних перегонів між провідними державами доби холодної війни. У зазначений період напівпровідники сприймали як технологічний прорив та стратегічний ресурс, спроможний впливати на світовий баланс сил. Сучасні процеси відтворюють подібну логіку, за якої технологічний прогрес тісно переплітається з політичними амбіціями та питаннями державної безпеки, що підтверджує циклічний характер історичного поступу у сфері технологічних перетворень.

Глобалізація виробництва суттєво вплинула на трансформацію світової торгівлі, зміщуючи акцент з міждержавної торгівлі на внутрішню торгівлю всередині транснаціональних корпорацій. Останнє зростання світової торгівлі

значною мірою зумовлене збільшенням обсягів внутрішньо-корпоративних транзакцій, що переважно відбуваються між підрозділами однієї компанії в різних країнах, ніж торгівлею між окремими державами. Паралельно, у промисловому секторі відбувся стрімкий розвиток міжфірмової торгівлі, що призвело до того, що підприємства поступово стали визначальною силою у формуванні глобальних торгових структур [99]. Особливо проявляється в структурі торгівлі сировинними товарами у виробничому ланцюжку напівпровідників. Структура тісно пов'язана зі складними взаємозв'язками між напівпровідниковими підприємствами, де мережа постачальників і виробників чіпів утворює комплексну систему, що визначає економічні відносини в цій галузі.

Глобалізація прагне зменшити значення географічних обмежень у міжнародній торгівлі, однак навіть у напівпровідниковій промисловості, яка активно включається у світові економічні потоки, просторові фактори залишаються визначальними. Напівпровідники, що мають статус стратегічних товарів, впливають на економічні, соціальні, культурні, політичні та інституційні процеси, відтак їхня торгівля формується ринковими законами та специфікою національних інтересів. Міжнародні торгові відносини у цій сфері є складними: вони формуються під впливом економічних, геополітичних і технологічних чинників, а залишаються прив'язаними до певних територіальних умов. Попри те, що великі компанії розміщують виробничі потужності за межами власних країн і активно беруть участь у глобальних торгових процесах, ланцюги постачання залишаються складними та вразливими. Продуктивна взаємодія між партнерами у таких ланцюгах значною мірою залежить від близькості виробничих майданчиків і від організаційно-культурних умов, що забезпечують ефективну координацію на різних рівнях глобального виробництва та комерційної діяльності [100]. У контексті загостреної конкуренції між провідними державами транснаціональні корпорації поступово втрачають автономію та нейтральний статус. Посилення державного контролю веде до посилення впливу урядів на

глобальні економічні процеси та перерозподіл економічної та політичної ваги у міжнародній системі [101].

Статус країн у глобальній торгівлі напівпровідниковими товарами значною мірою залежить від їхніх підприємств, які виконують ключову роль у цій міжнародній мережі, що підкреслює важливість корпоративного рівня аналізу для розуміння глобальних торгових процесів[102]. Так, розглядаючи історію розвитку світових напівпровідникових підприємств, слід зазначити, що Сполучені Штати завжди відігравали ключову роль у цій галузі. У 1958 році компанія Texas Instruments Co., Ltd. представила першу інтегральну схему, що ознаменувала формальне народження напівпровідникової промисловості. Сполучені Штати завжди мали значні переваги першопрохідника і домінували на глобальному ринку.

Розміщення заводів у різних країнах світу дало можливість скоротити витрати на виготовлення мікросхем та створило умови для поширення технологічних знань. У результаті держави Східної Азії, передусім Японія та Південна Корея, отримали можливість активно впроваджувати передові технології, запозичені в американських компаній. Це сприяло швидкому нарощуванню їхніх виробничих потужностей і поступово перетворило зазначені держави на потужних учасників світового ринку напівпровідників.

Окремим етапом у розвитку галузі стало заснування тайванської компанії TSMC, поява якої започаткувала поширення моделі контрактного виробництва мікросхем (foundry), за якої компанія зосереджується на виготовленні напівпровідників на замовлення інших технологічних корпорацій. Згодом така організація виробничого процесу набула статусу загальноприйнятого стандарту в індустрії. І хоча сьогодні TSMC залишається найбільшим виробником мікросхем у світі, значна частка її акціонерного капіталу перебуває під контролем інвесторів зі Сполучених Штатів Америки, що свідчить про відчутний вплив американського капіталу на глобальний ринок напівпровідників. Подібна структура власності є характерною для сучасної економіки: навіть коли виробничі потужності підприємства

розташовані на території однієї держави, значна частка контролю над його діяльністю може належати іноземним інвесторам, які через володіння акціями та участь у фінансуванні стратегічних програм впливають на управлінські рішення, напрями інноваційної діяльності та довгострокову економічну політику компанії.

Розвиток виробничої інфраструктури галузі не обмежився лише великими технологічними центрами. Дедалі важливішу роль у розширенні світової мережі виробництва мікросхем почали відігравати держави Південно-Східної Азії. У Сінгапурі та Малайзії сформувалися сучасні ливарні підприємства, спеціалізовані на виготовленні напівпровідникових компонентів, що сприяло інтеграції цих країн у міжнародні виробничі ланцюги. Розміщення на їхній території підприємств транснаціональних корпорацій зміцнило позиції регіону на світовому ринку електронної продукції, перетворивши його на один із важливих центрів виготовлення компонентів для сучасної електроніки.

Помітного впливу від розвитку галузі зазнав і європейський регіон. Значна кількість провідних європейських виробників підтримувала інтенсивну співпрацю зі Сполученими Штатами Америки у сфері наукових досліджень, інвестицій та виробничих програм, унаслідок чого між різними частинами світу сформувалася тісна економічна взаємозалежність. Саме така кооперація уможливила створення обладнання надвисокої складності, без якого сучасне виробництво напівпровідників фактично неможливе. У підсумку Сполучені Штати Америки продовжують посідати одну з центральних позицій у світовій напівпровідниковій індустрії [103].

Інвестиційні ресурси, науково-технологічні розробки, участь у капіталі багатьох міжнародних корпорацій формують значний вплив на структуру глобального ринку. Наприклад, виробництво базових матеріалів для напівпровідникової промисловості майже монополізоване такими компаніями, як Shin-Etsu та SUMCO в Японії, GlobalWafers на Тайвані, Siltronic в Німеччині та SK Siltron у Південній Кореї. Виробництво

спеціалізованого обладнання також зосереджено у декількох ключових гравців, серед яких Applied Materials, Lam Research та KLA у США, ASML у Нідерландах, Tokyo Electron та Advantest у Японії. Інтегральні схеми переважно виробляються великими компаніями IDM, такими як Intel, Micron Technology та Texas Instruments у США, Samsung у Південній Кореї. Виробничі потужності зосереджені на ливарних заводах, наприклад, TSMC та UMC на Тайвані та SMIC у материковому Китаї [104].

Зазначена закономірність узгоджується з теоретичними положеннями Дж. Доси [64] щодо технологічних парадигм як стійких траєкторій інноваційного розвитку галузей, а також з еволюційною теорією Р. Нельсона та С. Вінтера [63], у межах якої технологічні зміни розглядаються як результат накопичення виробничих рутин, кумулятивного навчання та відбору найефективніших технологічних практик.

Контроль окремих держав над певними сегментами промислового ланцюга створює для них вагомий важелі впливу на розвиток усієї галузі, включно з організацією постачання ресурсів і процесами формування вартості продукції. Керуючи ключовими етапами виробництва, держави отримують можливість гарантувати задоволення внутрішніх потреб та впливати на глобальні процеси у сфері виготовлення обладнання для напівпровідників. У результаті зростає їхня економічна сила і політична роль у міжнародному середовищі [105].

Поряд із впливом різних видів сировини на торговельні процеси в межах виробничого ланцюга напівпровідників особливої ваги набуває рівень технологічних нововведень. Швидкість технологічного поступу належить до провідних чинників, що визначають розвиток індустрії мікроелектроніки. Безперервне вдосконалення виробничих процесів, використання нових матеріалів та поява інноваційних підходів до проектування мікросхем сприяють швидкому розширенню галузі. Орієнтиром для її розвитку традиційно слугує закон Мура, відповідно до якого кількість транзисторів на одному мікрочипі приблизно подвоюється кожні два роки [106]. Постійне

прагнення до зменшення розмірів електронних компонентів і підвищення їхньої продуктивності стимулює створення нових технологічних рішень, серед яких важливе місце посідають тривимірні напівпровідникові структури, сучасні методи літографії та застосування систем штучного інтелекту під час розроблення мікросхем. Результати наукових досліджень свідчать, що перевага у сфері технологічних розробок стає вирішальною умовою збереження конкурентних позицій у напівпровідниковій індустрії.

Інтенсивність технологічних нововведень суттєво впливає як на внутрішні виробничі процеси, так і на формування світових торговельних структур. Вона визначає конкурентні умови на ринку та окреслює напрями подальшої еволюції галузі, формуючи характер міжнародних економічних зв'язків у сфері напівпровідників. При цьому високий рівень технологічного розвитку здатний впливати на міжнародну торгівлю у двох протилежних напрямках. З одного боку, активне впровадження нових технологій розширює торговельні потоки, оскільки підвищується попит на сучасне обладнання та інноваційні рішення. З іншого боку, високий рівень технологічності може створювати обмеження для експорту складного обладнання з окремих держав. Підґрунтям для появи таких бар'єрів стали механізми експортного контролю, запроваджені урядами європейських держав і Сполучених Штатів задля обмеження доступу до передових технологій, що мають стратегічне значення для національної безпеки. Отже, технологічні інновації формують напрям розвитку напівпровідникової промисловості та впливають на динаміку міжнародної торгівлі, визначаючи, які країни й компанії зможуть залишатися лідерами на глобальному ринку [107].

Протягом останніх років посилюється практика обмеження експорту технологій, пов'язаних із виробництвом напівпровідників. Головним чинником поширення подібних обмежувальних заходів стала потреба держав посилити захист власної промислової безпеки. Виробниче обладнання для виготовлення напівпровідників становить основу мікроелектронної індустрії, через що перебуває під жорстким державним наглядом. У результаті

постачання подібної техніки до окремих держав підлягає обмеженню або повній забороні. Запровадження контролю спрямоване на збереження стратегічних переваг у сфері високих технологій, на зниження ризиків, пов'язаних із переданням інноваційних розробок країнам, дії яких можуть суперечити національним інтересам держав-розробників. За таких умов інноваційний розвиток у галузі мікроелектроніки перебуває під впливом суперечливих тенденцій. Розвиток нових технологій стимулює розширення міжнародної торгівлі, оскільки зростає попит на сучасні виробничі системи, матеріали та інженерні рішення. Разом із тим державна політика експортного контролю створює бар'єри для вільного поширення передових технологій. Унаслідок цього формується складне співвідношення між прагненням до розвитку глобального технологічного обміну та необхідністю гарантувати безпеку держав у стратегічно важливих галузях, до яких належить напівпровідникове виробництво. Важливе значення для розвитку індустрії мікроелектроніки мають державні стратегії та нормативно-правове регулювання. Напівпровідниковий сектор посідає ключове місце у системі забезпечення обороноздатності держав, підтримання економічної конкурентоспроможності та розвитку науково-технічного потенціалу.

Мікроелектронні компоненти становлять основу широкого спектра сучасних технологічних систем, які застосовуються у військовій техніці, телекомунікаційних мережах, транспортній інфраструктурі, комплексах, що забезпечують стабільну роботу критично важливих елементів економіки. Через важливість галузі уряди багатьох держав формують комплексні програми регулювання, спрямовані на підтримку всіх етапів розвитку напівпровідникового сектору - від наукових досліджень і технологічних розробок до організації ланцюгів постачання, міжнародної торгівлі та впровадження екологічно відповідальних виробничих практик.

Напівпровідникова галузь посідає провідне місце у формуванні економічного розвитку та підтриманні належного рівня національної безпеки. Висока стратегічна значущість зумовлює посилену увагу державних

інституцій до вироблення політики, спрямованої на стимулювання наукових досліджень, запровадження новітніх технологічних рішень, упорядкування зовнішньоекономічних взаємин, координацію складних виробничих ланцюгів. Результативність таких дій безпосередньо визначає можливості держави нарощувати економічний потенціал, утримувати сильні позиції у глобальному конкурентному середовищі. Фінансова підтримка наукових розробок, формування привабливого інвестиційного середовища, удосконалення виробничих процесів разом із підвищенням ефективності логістики створюють підґрунтя для пришвидшення технологічного розвитку, для забезпечення стійкості економіки у тривалій перспективі. У багатьох країнах посилюється прагнення убезпечити власні технологічні напрацювання, виробничі потужності, об'єкти інфраструктури, що мають вирішальне значення, від ризиків, спричинених зростанням міжнародної конкуренції та нестабільністю геополітичного середовища. Прагнення зміцнити внутрішні можливості у сфері виготовлення мікроелектроніки стало поштовхом для розроблення спеціалізованих державних програм, спрямованих на підтримку розвитку галузі. У рамках подібних ініціатив застосовуються фінансові стимули, покликані активізувати інвестиції у технологічні інновації, запроваджуються інструменти, спрямовані на збереження, зміцнення та подальший розвиток національного виробництва.

Комплекс подібних заходів входить до масштабніших стратегічних програм, спрямованих на досягнення технологічної самостійності держав, скорочення залежності від зовнішніх постачальників і підтримання довгострокової економічної стабільності. Отже, напівпровідникова промисловість належить до економічно значущих секторів і становить важливу складову системи національної безпеки, що потребує постійної уваги з боку державних інституцій. З огляду на це державна політика, пов'язана з фінансуванням досліджень і розробок, регулюванням торговельних зв'язків та організацією ефективного управління ланцюгами постачання, має вирішальне значення для розвитку галузі мікроелектроніки.

Стратегічні можливості національної економіки та її позиції у світовому конкурентному середовищі значною мірою залежать від розвитку пріоритетних технологічних напрямів. Завдяки їхньому поступу виникають умови для підтримання технологічної першості, зміцнення економічної витривалості держави, формування довгострокових передумов для стабільного зростання. У сучасних умовах дедалі більше урядів прагнуть зберегти або посилити власні позиції у сфері високих технологій, приділяючи особливу увагу захисту національних науково-технічних напрацювань і ключових елементів інфраструктури. Подібна політика пов'язана з посиленням міжнародного суперництва, зі зростанням ризиків, зумовлених напруженістю у глобальному геополітичному середовищі. У такому контексті особливої ваги набуває розвиток виробництва напівпровідників. Усвідомлення необхідності зміцнення внутрішніх можливостей у згаданій галузі стало поштовхом до створення державних програм підтримки промисловості мікроелектроніки. Прийняті у межах подібних програм політичні рішення передбачають використання різноманітних фінансових інструментів, спрямованих на активізацію інвестицій у розроблення передових технологій, реалізацію комплексу заходів, орієнтованих на зміцнення внутрішнього виробничого потенціалу. Втілення подібних ініціатив поступово інтегрується у ширшу систему державної економічної політики, головними орієнтирами якої виступають досягнення технологічної незалежності, скорочення залежності від іноземних постачальників високотехнологічної продукції, забезпечення довготривалої стабільності економічного розвитку. У зв'язку з цим аналіз урядових стратегій, спрямованих на підтримку напівпровідникової промисловості має вагоме значення для глибшого розуміння сучасних економічних процесів, глобальних тенденцій у сфері технологічного розвитку.

Подібний аналіз надає змогу визначити, яким чином державна політика впливає на формування конкурентних переваг держави, визначає її позицію у світовій економічній системі. Унаслідок державне регулювання, пов'язане з

виробництвом напівпровідників, стає одним з ключових чинників, від якого залежить розвиток галузі, стійкість національної економіки разом із загальним рівнем безпеки країни. Розглядаючи політику держав, спрямовану на розвиток напівпровідникового сектору, варто звернути увагу на активні дії Сполучених Штатів Америки, які реалізували низку законодавчих ініціатив, серед яких вагомим є Закон про CHIPS та науку. Нормативний акт передбачає виділення значних фінансових ресурсів з метою підтримки внутрішнього виробництва напівпровідників, стимулювання наукових досліджень і дослідно-конструкторських робіт. Головним завданням законодавчої ініціативи стало зниження залежності Сполучених Штатів від іноземних постачальників, насамперед у період посилення геополітичної напруженості у відносинах із державами, серед яких особливе місце посідає Китай. Досягнення поставлених цілей передбачається через підтримку будівництва підприємств із виробництва напівпровідників на території США разом із розвитком передових технологічних напрямів. Подібні кроки здійснюють також інші держави. Південна Корея, Японія, країни Європейського Союзу реалізують власні програми зміцнення напівпровідникового сектору. Запроваджуються субсидії, податкові пільги, державне фінансування наукових досліджень і дослідно-конструкторських робіт. Реалізація подібних програм спрямована на підтримання стабільності ланцюгів постачання, скорочення залежності від іноземних виробників, що сприяє збереженню контролю над стратегічно важливими технологіями разом із виробничими ресурсами. Високий рівень глобалізації напівпровідникової індустрії призводить до формування складних ланцюгів постачання, до яких залучено значну кількість держав.

У таких умовах міжнародна торговельна політика набуває вирішального значення для формування економічної структури галузі. Використання митних тарифів, обмежень у сфері міжнародної торгівлі, інструментів експортного контролю здатне суттєво трансформувати напрями руху товарних потоків разом із балансом сил на світових ринках. Унаслідок подібних рішень змінюється структура конкурентного середовища, що безпосередньо впливає

на стратегічні пріоритети урядів різних держав. Особливо помітні наслідки подібної політики проявляються у галузях, пов'язаних із виробництвом передових технологій, серед яких важливе місце посідає напівпровідникова промисловість.

У теоретичній перспективі М. Портера [67] розглянуті процеси розкриваються через категорію конкурентних переваг національних економік, що формуються на основі факторних умов, рівня попиту, наявності суміжних галузей і структури галузевої конкуренції. Концепція національних інноваційних систем Б.-О. Лундвалла [62] та К. Фрімена [61] доповнює зазначений підхід через розкриття ролі держави як одного з ключових суб'єктів формування технологічного потенціалу галузі, що особливо актуально в умовах сучасного загострення міжнародної технологічної конкуренції.

Протистояння між найбільшими економіками світу, США та Китаєм, перетворилося на важливий чинник, який змінив умови розвитку світового ринку напівпровідників, визначив нові орієнтири державної політики у сфері високих технологій. Американська адміністрація, обґрунтовуючи свої дії необхідністю захисту національної безпеки разом із побоюваннями щодо можливого використання передових мікроелектронних розробок у військовій галузі, запровадила суворі обмеження на постачання до Китаю технологій виробництва напівпровідників. Під обмеження потрапили також високоспеціалізовані виробничі установки, без яких створення сучасних мікросхем майже неможливе. Запроваджені правила експорту суттєво ускладнили доступ китайських підприємств до передових технологічних рішень. За таких умов компанії з Китаю були змушені шукати інші джерела технологічної підтримки, переорієнтовувати ланцюги постачання, спрямовувати значні фінансові ресурси на розвиток власних виробничих потужностей у сфері напівпровідникового виробництва. Реакцією Китаю на запроваджені обмеження стало формування масштабної державної політики підтримки національної напівпровідникової індустрії. Китайський уряд

розробив комплекс програм, спрямованих на зменшення залежності від іноземних постачальників технологій та створення внутрішньої інноваційної бази. Важливе місце у державній промисловій стратегії посідає програма «Зроблено у Китаї 2025», у межах якої передбачено значну фінансову підтримку розширення виробництва мікроелектроніки, інших високотехнологічних компонентів. Реалізація зазначеної програми супроводжується масштабними інвестиціями з боку держави разом із довгостроковим плануванням розвитку промисловості, що перетворює її на один із ключових елементів економічної стратегії країни. Запровадження подібних торговельних обмежень поступово призвело до трансформації структури глобального ринку напівпровідників.

Багато держав опинилися перед необхідністю визначення власної позиції між двома великими технологічними центрами - американським і китайським. Подібний розподіл може спричинити виникнення відмінних технологічних стандартів, різних виробничих практик разом із формуванням окремих ланцюгів постачання. У результаті міжнародна конкуренція у сфері високих технологій набуває нових форм, а співпраця між державами може зазнати суттєвих змін. Поява двох відокремлених технологічних центрів здатна поглибити фрагментацію світового ринку, що, своєю чергою, ускладнить процес створення інноваційних рішень разом із формуванням нових економічних і геополітичних викликів. Розвиток напівпровідникової індустрії значною мірою залежить від коливань ринкового попиту. Обсяг потреби у мікросхемах формується під впливом динаміки розвитку ключових секторів економіки, серед яких важливе місце посідають виробництво побутової електроніки, автомобільна промисловість, телекомунікаційна галузь, сфера обчислювальної техніки. У кожному із зазначених напрямів напівпровідники становлять основу сучасних технологічних рішень, тому зміни у відповідних галузях безпосередньо відображаються на масштабах попиту. Значний вплив на динаміку споживання мікросхем має поява нових технологій разом із розширенням виробництва інноваційної продукції.

Стрімке поширення смартфонів, розвиток електромобільного транспорту, активне впровадження технологій Інтернету речей (IoT) істотно підвищили потребу у напівпровідникових компонентах. Підвищення попиту створить сприятливі умови для розширення виробничих потужностей, впровадження новітніх технологічних рішень і подальшого зростання індустрії мікроелектроніки у глобальному масштабі.

Однак, капіталомісткий характер напівпровідникової галузі вимагає від компаній постійних інвестицій в ДіР, в модернізацію виробничих потужностей. Інвестиції в ДіР є необхідними для впровадження інновацій, покращення продуктивності та забезпечення технологічної конкурентоспроможності. Для збереження конкурентних переваг та відповіді на технологічні виклики компанії повинні підтримувати сучасні виробничі потужності, що потребує значних фінансових витрат.

У шumpетеріанській традиції [87] патентна активність розглядається як інструмент тимчасової монополії, що дозволяє інноваторам акумулювати надприбутки від запровадження базисних інновацій. Подібний механізм узгоджується з ресурсно-орієнтованим підходом (Дж. Барні [60], Д. Тіс [59]) до формування конкурентних переваг, у межах якого технологічні знання та унікальні виробничі компетенції розглядаються як стратегічні активи, що забезпечують стійкість ринкових позицій компаній.

Патенти відіграють ключову роль у напівпровідниковій промисловості, слугуючи важливим інструментом для створення конкурентних переваг та захисту інтелектуальної власності компаній. В цьому контексті особливо вирізняється компанія Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), яка завдяки своїм передовим виробничим процесам змогла вибудувати потужний патентний портфель. На частку TSMC припадає близько 60% загальної кількості патентів серед компаній-лідерів галузі. Діяльність компанії підкреслює стратегічну важливість інновацій для компанії та її здатність утримувати лідируючі позиції на глобальному ринку. TSMC має довгу історію інноваційної діяльності, яка містить значні інвестиції в дослідження та

розробки. Значні інвестиції у наукові дослідження, розроблення нових технологій та вдосконалення виробничих процесів дали змогу зміцнити інноваційний потенціал підприємства та підвищити рівень його конкурентних можливостей.

Упродовж останніх років простежується поступове зростання кількості зареєстрованих патентів, що відображає активізацію науково-дослідницької роботи компанії та її прагнення до створення нових технологічних рішень. Розширення патентного портфеля свідчить про системну роботу у сфері інновацій, спрямовану на розроблення передових методів виробництва мікросхем і вдосконалення технічних характеристик продукції. Проте у 2018 році відбулося помітне скорочення кількості зареєстрованих патентів у порівнянні з попереднім роком. Подібне зниження пов'язують із кризовими явищами, які виникли у напівпровідниковій галузі в той період. Негативна економічна кон'юнктура вплинула на темпи інноваційної діяльності підприємств, що, своєю чергою, відобразилося на рівні патентної активності.

Таким чином, патентна політика TSMC має важливе значення для зміцнення позицій компанії на світовому ринку. Наявність великої кількості зареєстрованих технологічних рішень забезпечує надійний правовий захист інноваційних розробок, надає можливість впливати на подальший розвиток технологічних стандартів у сфері виробництва напівпровідників. У більш широкому контексті економічна модель напівпровідникової індустрії відзначається підвищеною залежністю від коливань ринкового попиту, значною капіталомісткістю виробництва та вираженою циклічністю розвитку. Подібні особливості змушують компанії спрямовувати значні фінансові ресурси на проведення досліджень і розробок, модернізацію виробничих потужностей, вдосконалення систем управління глобальними ланцюгами постачання. Урахування зазначених факторів має важливе значення для формування ефективних стратегій розвитку підприємств галузі.

Напівпровідникова промисловість є найважливішим сектором у світовій економіці, рушійною силою прогресу в технологіях і впливає широкий спектр

інших галузей. За таких умов розвиток та управління кадровим потенціалом є найважливішими компонентами, які формують економічну модель цієї галузі. Аспекти визначають виробничі потужності, споживчий потенціал країн. Високий рівень економічного розвитку забезпечує країнам доступ до сучасних технологій і інфраструктури, що сприяє підвищенню ефективності виробництв і розширенню асортименту напівпровідників, які можуть бути запропоновані на світовому ринку.

Важливу роль у розвитку напівпровідникової індустрії має наявність висококваліфікованих фахівців. Підготовлені кадри забезпечують можливість нарощування виробничих обсягів, формують широкий спектр спеціалізованих компетенцій, необхідних для виготовлення складної електронної продукції. Завдяки цьому відкриваються перспективи для розширення експорту та поглиблення участі у глобальних ланцюгах постачання напівпровідникових компонентів [108]. Створення, виробництво та випробування напівпровідникових пристроїв потребують фахівців із високим рівнем підготовки у низці ключових галузей знань. Йдеться про матеріалознавство, електротехніку, програмну інженерію та суміжні науково-технічні дисципліни. Саме наявність підготовлених інженерів, науковців і технічного персоналу забезпечує можливість проведення досліджень і розробок, удосконалення технологічних процесів, підтримання стабільної якості та надійності напівпровідникових виробів. Інвестиції у розвиток людського капіталу тісно пов'язані зі здатністю галузі генерувати інновації. Підприємства, що працюють у сфері виготовлення мікросхем, спрямовують значні фінансові ресурси на програми професійної підготовки персоналу, співпрацю з університетами та науковими центрами, на системи безперервного підвищення кваліфікації. Подібні ініціативи дозволяють формувати постійний потік нових спеціалістів - інженерів, дослідників і техніків, здатних працювати з передовими технологіями. Розвиток кадрового потенціалу сприяє появі нових технологічних рішень.

Значну роль відіграють інновації у сфері літографії, створення нових матеріалів для виготовлення мікросхем, удосконалення технологій обробки кремнієвих пластин. Саме подібні досягнення дозволяють виробникам підтримувати конкурентні позиції на світовому ринку та відповідати на швидкі зміни попиту на електронну продукцію. Значний вплив має рівень підготовки робочої сили на економічну модель напівпровідникової галузі. Через кваліфікацію працівників напряду здійснюється вплив на продуктивність підприємств, ефективність виробничих процесів, швидкість впровадження інновацій та загальний рівень конкурентоспроможності. Держави з розвиненими системами освіти у сферах STEM, науки, технологій, інженерії та математики, мають більше можливостей для залучення інвестицій у виробництво напівпровідників та прискорення розвитку галузі. Натомість дефіцит підготовлених спеціалістів може призводити до: зростання експлуатаційних витрат; сповільнення інноваційних процесів; ослаблення позицій на глобальному ринку [109].

Глобалізація напівпровідникового виробництва міцнить конкуренцію між державами за доступ до кваліфікованих кадрів. Великі технологічні корпорації прагнуть розміщувати науково-дослідні центри, дослідно-конструкторські підрозділи та виробничі підприємства у країнах, де сформовано потужну науково-технічну базу та наявна достатня кількість підготовлених спеціалістів. Зростання боротьби за таланти свідчить про виняткове значення державних і регіональних програм, що спрямовані на розвиток освіти, залучення перспективних фахівців і створення умов для їхнього професійного зростання. Напівпровідникова індустрія належить до ресурсомістких секторів економіки. Виготовлення мікросхем потребує значних обсягів енергетичних ресурсів, води та різноманітних матеріалів. Через інтенсивне використання природних ресурсів виробнича діяльність у напівпровідниковій галузі пов'язана з підвищеним навантаженням на навколишнє середовище. У зв'язку з посиленням екологічних викликів державні органи в багатьох країнах поступово посилюють нормативну базу,

спрямовану на обмеження негативних наслідків промислового виробництва та підтримку орієнтації економічного розвитку на принципи екологічної відповідальності. Екологічне регулювання у сфері виготовлення напівпровідників охоплює різні стадії виробничого циклу. Суттєве значення має контроль за обсягами промислових викидів, організація систем управління відходами, раціональне використання природних ресурсів.

Підприємства, які виготовляють мікросхеми, підпадають під дію суворих нормативів щодо обмеження шкідливих викидів. Такі правила стосуються парникових газів та летких органічних сполук, які можуть потрапляти в атмосферу під час технологічних операцій. Необхідність дотримання встановлених вимог призводить до того, що компанії повинні вкладати значні кошти у впровадження систем очищення викидів, модернізацію виробничих технологій. Окрему увагу у сфері екологічної політики приділено використанню водних ресурсів. У процесі виготовлення напівпровідникових компонентів необхідним є використання великих обсягів надчистої води, яка застосовується під час очищення кремнієвих пластин та виконання багатьох технологічних операцій. У регіонах з дефіцитом води, державні органи запроваджують більш суворі правила управління водними ресурсами. Відповідні вимоги передбачають впровадження ефективних методів водокористування, значні інвестиції у системи очищення та повторного використання води у виробничих процесах.

Незалежно від того, який сценарій зміни клімату буде реалізовано в майбутньому, оптимістичний, реалістичний чи песимістичний, щонайменше 40 % [110] від усіх існуючих заводів з виробництва напівпровідників будуть відчувати високий або надзвичайно високий ризик водного стресу до 2030 року. Інакше кажучи, зміна клімату та нестача води створюють ризики для напівпровідників як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі.

Більшість недавніх побоювань, висловлених з приводу виробництва напівпровідників, є проблемою в геополітичних термінах міждержавного суперництва, особливо між Китаєм і Сполученими Штатами [111]. І США

[112], і Європа [113] оголосили про велике державне фінансування напівпровідникової промисловості, особливо для повернення потужностей компаній, які витратили десятиліття на створення виробничих потужностей за межами цих регіонів [114]. Проте всі виробничі потужності, про які було оголошено або які будуються в США та Європі, розташовані в регіонах, які вже стикаються із значним дефіцитом води. Intel, Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) [115] та Samsung будують нові об'єкти на південному заході США - у регіоні, який офіційно перебуває в умовах посухи з 1994 року [116].

Ливарні заводи виробляють хімічні, електронні та небезпечні речовини. Утворення небезпечних відходів відбувається через використання в процесі виробництва токсичних хімічних речовин: добавок, фотоактивних сполук, полімерів, солей тощо, які в основному використовуються у фотолітографії, рідкій або газоподібній фазі. Вони, іноді таємно, можуть включати розчинники, кислоти та важкі метали, які можуть завдати шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людини при неправильному поводженні [117].

Протягом десятирічного періоду відбулося зростання обсягів відходів, утворених у напівпровідниковій галузі. Якщо у 2012 році їхня кількість становила приблизно 198 тис. тон, то у 2021 році показник досягнув 874 тис. тон, тобто зріс більш ніж у чотири рази [118]. Пояснення подібної динаміки пов'язане з кількома факторами. Одним із них стало різке розширення масштабів виробництва мікросхем, обсяг якого за відповідний період майже потроївся. Іншим чинником виступає підвищення технологічної складності виробництва сучасних кремнієвих пластин. Перехід до менших технологічних вузлів потребує значно більшої кількості ресурсів, води, що на кожну одиницю продукції припадає у значно більших обсягах, ніж раніше. Проте важливість проблеми полягає не лише у зростанні загальної маси відходів.

Починаючи з 2012 року у напівпровідниковій галузі спостерігається суттєве збільшення обсягів небезпечних відходів. Упродовж наступних років

їхня кількість у абсолютному вимірі перевищила початковий показник більш ніж удвічі. Найбільш виразне прискорення зростання припадає на період після 2019 року, що підтверджується відповідними статистичними даними та динамікою показників за останні роки.

Залежність між кількістю таких матеріалів та масштабом їхнього негативного впливу не завжди має просту пропорційну форму. У деяких випадках збільшення обсягу відходів може спричиняти не лінійне, а експоненціальне зростання екологічних ризиків. Особливу складність становить поводження з хімічними відходами, що утворюються під час виготовлення напівпровідників. У складі таких відходів присутні різноманітні токсичні компоненти, які потребують спеціальних методів обробки, зберігання та утилізації.

Наявність складних хімічних сполук ускладнює процес очищення та підвищує вимоги до систем екологічного контролю. У зв'язку з наведеними обставинами зростає потреба у впровадженні комплексних заходів, спрямованих на зменшення екологічного навантаження галузі. Серед ключових напрямів вирішення проблеми виділяється скорочення використання небезпечних матеріалів у виробничих процесах, удосконалення технологій обробки та утилізації відходів, запровадження більш суворих норм і процедур екологічної безпеки [119]. Діяльність у сфері екологічного регулювання не обмежується лише встановленням нормативних вимог. Державні органи багатьох країн прагнуть стимулювати підприємства до переходу на більш екологічно орієнтовані виробничі практики. З метою скорочення утворення відходів напівпровідникові заводи запровадили методи сталого розвитку:

- 1) стратегію скорочення використання небезпечних хімічних речовин [120];

- 2) переробка відходів життєдіяльності; процеси мінімізації відходів, такі як скорочення використання тестових пластин; впровадження нових технологій та підвищення енергоефективності [121].

Подальший розвиток напівпровідникової індустрії вимагатиме переосмислення існуючих підходів до організації виробництва. Зростання масштабів виготовлення електронних компонентів супроводжується значними витратами ресурсів та утворенням великої кількості промислових відходів. У майбутньому особливого значення набуде розроблення нових технологічних рішень, що будуть спрямовані на модернізацію виробничих процесів. Застосування нових виробничих рішень здатне забезпечити більш раціональне використання природних і технологічних ресурсів, сприяти зменшенню шкідливого впливу промислової діяльності на навколишнє середовище. У довгостроковій перспективі подібні зміни сприятимуть формуванню більш екологічно відповідальної моделі розвитку світової напівпровідникової галузі, що узгоджується з принципами сталого економічного розвитку [122].

Синергетична дія розглянутих детермінантів в умовах наростаючого впливу квантових технологій зумовлює становлення принципово нової, інноваційно орієнтованої моделі розвитку глобального ринку напівпровідників. Визначальними рисами цієї моделі є пріоритетність національного технологічного суверенітету, перехід до розподілених і диверсифікованих ланцюгів створення вартості, а також підвищення адаптивності галузевої екосистеми до зовнішніх шоків і геоекономічних обмежень. Впровадження квантових підходів при цьому матиме поетапний характер і охопить шлях від експериментальних розробок та їх точкового застосування в окремих інженерних сферах до системної трансформації проєктування, матеріалознавства, виробничих систем та економічних моделей галузі. Результатом такої еволюції стане докорінна зміна конфігурації світового технологічного лідерства і перерозподіл інноваційних конкурентних переваг між ключовими гравцями ринку.

Узагальнюючи теоретичні підходи до детермінант розвитку економічної моделі напівпровідникової індустрії, доцільно зазначити, що шумпетеріанська логіка інноваційних циклів [87], концепція техноекономічних парадигм К.

Перес [86], теорія секторальних систем інновацій Ф. Малерби [85], теорія конкурентних переваг М. Портера [67], а також концепція національних інноваційних систем К. Фрімена й Б.-О. Лундвалла [61; 62] у комплексі формують методологічне підґрунтя для розуміння взаємозалежностей між технологічними, інституційними, ринковими та геополітичними чинниками галузевого розвитку. Зазначені теоретичні рамки створюють передумови для подальшого розгляду мережевої концепції розвитку світового ринку напівпровідників, у межах якої взаємодія учасників глобальних виробничих ланцюгів набуває аналітичної формалізації, що становить предмет наступного підрозділу дисертації.

1.3. Мережева архітектоніка глобального ринку напівпровідників

Активне вивчення закономірностей мережевої економіки разом із практичним застосуванням її принципів стало важливим чинником еволюції сучасних ринкових відносин, передусім у галузях, пов'язаних із розробленням та використанням передових технологій. Формування нових форм економічної взаємодії суттєво змінило способи організації виробництва, структуру співпраці між компаніями, умови конкуренції на світових ринках. Становлення сучасної моделі мережевої економіки пов'язане з масштабним прогресом інформаційно-комунікаційних технологій, який розпочався у 1960-х роках. Зростання ролі мережевих зв'язків у глобальній економіці сприяло посиленню взаємозалежності учасників ринку, розширенню міжнародної кооперації, формуванню складних систем партнерської взаємодії. У галузі виробництва напівпровідників подібні процеси створили сприятливі умови для швидшого розвитку індустрії. Об'єднання компаній, наукових центрів, виробників обладнання та розробників програмного забезпечення у взаємопов'язані мережеві структури відкрило нові можливості для

прискорення інноваційної діяльності, оптимізації виробничих процесів разом із розширенням масштабів ринку мікроелектроніки.

Підходи до визначення сутності поняття «мережева концепція» відображено на рис. 1.4.

М. Састеллс [123] визначає мережеву концепцію як основу сучасної глобальної економіки, акцентуючи на критичній ролі швидкості обміну інформацією, знаннями та ресурсами. Визначення М. Састеллс відображає системний характер мережевих структур, де економічні актори (корпорації, уряди, інститути) функціонують в умовах постійного обміну даними. Обмін інформацією забезпечує підвищення інноваційного потенціалу та сприяє здатності глобальних акторів адаптуватися до змінюваних умов ринку. М. Састеллс першим акцентує на тому, що мережі є основою для формування інформаційного суспільства, де швидкість і інтеграція інформаційних потоків стають основними рушіями економічного зростання та розвитку.

У науковій літературі питання мережевої взаємодії в економіці розглядається через різні теоретичні підходи, що дозволяє глибше зрозуміти механізми співпраці між організаціями, роль подібних зв'язків у розвитку інноваційних галузей. Значний внесок у вивчення природи мережевих систем зробили дослідники, які аналізують взаємодію між підприємствами, науковими установами та іншими учасниками економічного середовища. W. Повеллт та С. Годаал приділяють особливу увагу мінливості мережевих структур. У їхніх працях мережі розглядаються як гнучкі форми взаємодії, здатні поєднувати учасників із різних сфер діяльності задля створення нових знань та розвитку інновацій [124].

Автор	• Визначення
Кастеллс, М	• Мережева концепція - це основа сучасної глобальної економіки, де компанії, інститути та уряди функціонують у рамках складних мереж, що дозволяють швидко передавати інформацію, знання і ресурси, сприяючи інноваційному розвитку.
Повелл, В. В. та Гюдал, С.	• Мережева концепція - це динамічні системи, у яких актори співпрацюють задля створення нових знань та інновацій.
Гавер, А. та Сусумано, М. А.	• Мережева концепція - це критична складова для розвитку платформених ринків, де інтеграція різних суб'єктів через спільні технологічні стандарти і мережі дозволяє створювати стійкі екосистеми, які забезпечують конкурентоспроможність компаній.
Стургеон, Т. Д. та Зилберберг, Е. .	• Мережева концепція - це складова глобальних ланцюгів постачань, де компанії залежать від взаємодії з постачальниками і контрактними виробниками для досягнення ефективності та стабільності у виробництві.
Балдвін, С. И. та Кларк, К. Б.	• Мережева концепція - це модульна архітектура у структурах, де компанії можуть взаємодіяти для створення складних продуктів і технологій, зберігаючи при цьому гнучкість та незалежність.

Рис. 1.4. Підходи до визначення сутності поняття «мережева концепція»

Джерело: складено автором за [123-127]

Подібне бачення особливо важливе для високотехнологічних галузей, де успішний технологічний прорив значною мірою залежить від тісної співпраці між бізнесом, науковими установами та дослідницькими центрами. Дослідники наголошують на тому, що нові технологічні рішення нерідко виникають на перетині різних наукових дисциплін. Саме тому взаємодія між організаціями з різних сфер знань відіграє важливу роль у формуванні інноваційних ідей та практичних технологічних розробок.

Інший напрям наукового аналізу представлений у працях А. Гавера, та С. А. Кусумано, які розглядають мережеву взаємодію крізь призму платформених ринків. У центрі їхніх досліджень перебуває процес інтеграції

різних учасників економічного середовища на основі спільних технологічних стандартів, цифрових платформ та інфраструктурних рішень [125].

У межах такого формату співпраці виникають складні екосистеми, у яких підприємства отримують можливість обмінюватися ресурсами, технологіями та знаннями. Подібна взаємодія сприяє зміцненню конкурентних позицій компаній, оскільки кожен учасник мережі отримує доступ до ширшого кола можливостей для розвитку. У своїх роботах дослідники також звертають увагу на явище мережевого ефекту: зростання успішності одного учасника платформи здатне стимулювати розвиток інших суб'єктів, пов'язаних із нею. Подібна взаємозалежність підсилює значення платформених моделей у формуванні ефективних економічних екосистем.

Окремий аспект мережевої взаємодії досліджує Т. Д. Стургеон., який зосереджується на ролі мереж у глобальних ланцюгах постачання [126]. У межах його концепції мережа постає як система тісно пов'язаних відносин між виробниками, постачальниками комплектуючих, контрактними виробниками та іншими учасниками виробничого процесу. Подібна система взаємозв'язків дозволяє досягати високої ефективності виробництва, підвищувати стійкість промислових процесів у складних галузях. Значення таких мереж особливо помітне у сферах із високим рівнем технологічної складності, серед яких важливе місце посідають напівпровідникова індустрія та автомобільна промисловість.

С. Й. Болдвін і К. Б. Кларк [127] зосереджують свою увагу на модульній архітектурі як важливому елементі мережевих структур. Модульна архітектура дозволяє компаніям зберігати гнучкість і незалежність при співпраці для створення складних продуктів і технологій. Модульна архітектура забезпечує розподіл виробничих процесів на окремі, спеціалізовані частини, що дозволяє кожному учаснику мережі фокусуватися на певному етапі виробництва, зберігаючи при цьому можливість інтегрувати результати своєї діяльності у загальну систему. В результаті забезпечується високий рівень адаптивності та ефективності мережевих структур, що є

особливо важливим для оптимізації ресурсів і підвищення продуктивності у високотехнологічних галузях.

Спільними рисами розглянутих підходів є визнання системного характеру мережевої взаємодії, орієнтація на швидкість обміну знаннями і ресурсами як визначальний чинник конкурентоспроможності та акцент на адаптивній трансформації мережевих структур під впливом зовнішніх викликів. Відмінні риси полягають у предметному фокусі: М. Кастеллс розкриває інформаційно-комунікаційний вимір, В. Пауел - організаційно-кооперативний, А. Гавер і М. Кусумано - платформений, Т. Старджеон - ланцюговий, С. Балдвін і К. Кларк - модульний. У межах дисертаційного дослідження сформульовано власне визначення: мережева концепція розвитку світового ринку напівпровідників розглядається як аналітичний підхід, що інтерпретує функціонування галузі через сукупність формалізованих взаємозв'язків між транснаціональними корпораціями, постачальниками, дослідницькими установами, регуляторами та споживачами, які створюють додану вартість і характеризуються одночасно високою взаємозалежністю та системною вразливістю до екзогенних шоків.

Таким чином, кожен із розглянутих авторів визначає власну інтерпретацію ролі мереж у розвитку економічних систем. Одні дослідження акцентують значення швидкого обміну інформаційними потоками та інтеграції знань, інші приділяють більше уваги процесам співпраці між організаціями, формуванню складних взаємозв'язків у межах платформених ринків. Сукупність таких наукових поглядів сприяє глибшому усвідомленню ролі мереж у розвитку інноваційної діяльності, формуванні технологічних рішень та забезпеченні здатності економічних систем адаптуватися до змін глобального середовища. У працях Т. Дж. Старджеона та Г. Зімберберга особливу увагу приділено ролі мереж у структурі глобальних ланцюгів постачання. Дослідники підкреслюють значення стабільних взаємозв'язків між підприємствами, постачальниками комплектуючих та контрактними виробниками для підтримання безперервності виробничих процесів.

Налагоджена система взаємодії між учасниками таких мереж сприяє підвищенню ефективності виробництва, зміцненню стійкості промислових систем у разі виникнення зовнішніх викликів. К. Балдвін разом із К. Кларком звертають увагу на переваги модульної архітектури виробництва. Застосування подібної моделі дозволяє підприємствам поєднувати гнучкість організації виробничих процесів зі збереженням високого рівня спеціалізації окремих учасників. У результаті з'являється можливість раціональніше використовувати ресурси, швидше адаптуватися до змін технологічного середовища. Різноманітність запропонованих наукових підходів розкриває складний та багатовимірний характер мережевої концепції. Така різноплановість інтерпретацій створює передумови для комплексного аналізу сучасних економічних систем, у яких взаємодія між підприємствами, дослідницькими центрами, державними інституціями та іншими учасниками набуває дедалі більшого значення. Отримані наукові узагальнення свідчать про те, що мережева концепція перетворилася на важливий аналітичний інструмент дослідження сучасної економіки. За допомогою подібного інструментарію з'являється можливість глибше зрозуміти механізми взаємодії між різними суб'єктами господарської діяльності, які беруть участь у створенні інноваційних продуктів, розвитку технологій або організації складних виробничих процесів.

У сучасних умовах глобалізації економічні зв'язки між державами, транснаціональними корпораціями, науковими установами та інноваційними центрами стають дедалі тіснішими. Саме тому аналіз мережевих відносин дозволяє розкрити логіку коопераційних процесів, що виникають між такими учасниками. Формування мережевих структур відбувається через взаємодію суб'єктів, які об'єднують свої ресурси, знання та технологічні можливості задля досягнення спільних економічних результатів. До подібних результатів належать розвиток інноваційних рішень, обмін технологічними напрацюваннями, удосконалення виробничих процесів, раціональніше використання матеріальних, фінансових і людських ресурсів.

Формування індустрії напівпровідників належить до ключових подій у становленні сучасної високотехнологічної економіки. Початок активного розвитку галузі пов'язаний із появою перших інтегральних схем, придатних для комерційного використання. Їхнє впровадження компанією Fairchild Semiconductor Corporation стало важливим технологічним проривом, що значно розширив можливості виробництва електронних компонентів та започаткував процес масового промислового розвитку мікроелектроніки [128]. Від моменту зародження у середині XX століття напівпровідникова промисловість пройшла шлях глибоких перетворень. Галузь, яка нині становить основу майже всіх сучасних технологічних систем, поступово еволюціонувала разом із розвитком електроніки, комп'ютерної техніки та засобів зв'язку. Історія становлення індустрії мікроелектроніки пов'язана з технологічними відкриттями, розширенням міжнародної співпраці, посиленням глобальної конкуренції та формуванням складних мережевих структур між компаніями, дослідницькими центрами та державними інституціями.

Розглянемо основні історичні етапи еволюції напівпровідникової промисловості, а саме як вона перетворилася з нового сектора на глобальну мережеву галузь, яка є рушійною силою критичних досягнень у галузі обчислень, комунікацій та електроніки.

В теоретичному плані великого ступеню значущості набуває періодизація еволюційних трансформацій світової напівпровідникової галузі впродовж останнього століття. Така періодизація максимально вписується в методологічні границі інноваційно-циклічного розвитку економічних систем. Її доцільно здійснити за сукупністю таких кількісно-якісних критеріїв, як зміна технологічних поколінь виробництва, поява ключових інновацій та нових технологічних процесів, динаміка досліджень і розробок, трансформація бізнес-моделей, структура доданої вартості, інтенсивність злиттів і поглинань, а також домінуючі інструменти державної промислової політики та

експортного регулювання. За результатами застосування зазначених критеріїв виокремлено п'ять етапів еволюційної трансформації галузі.

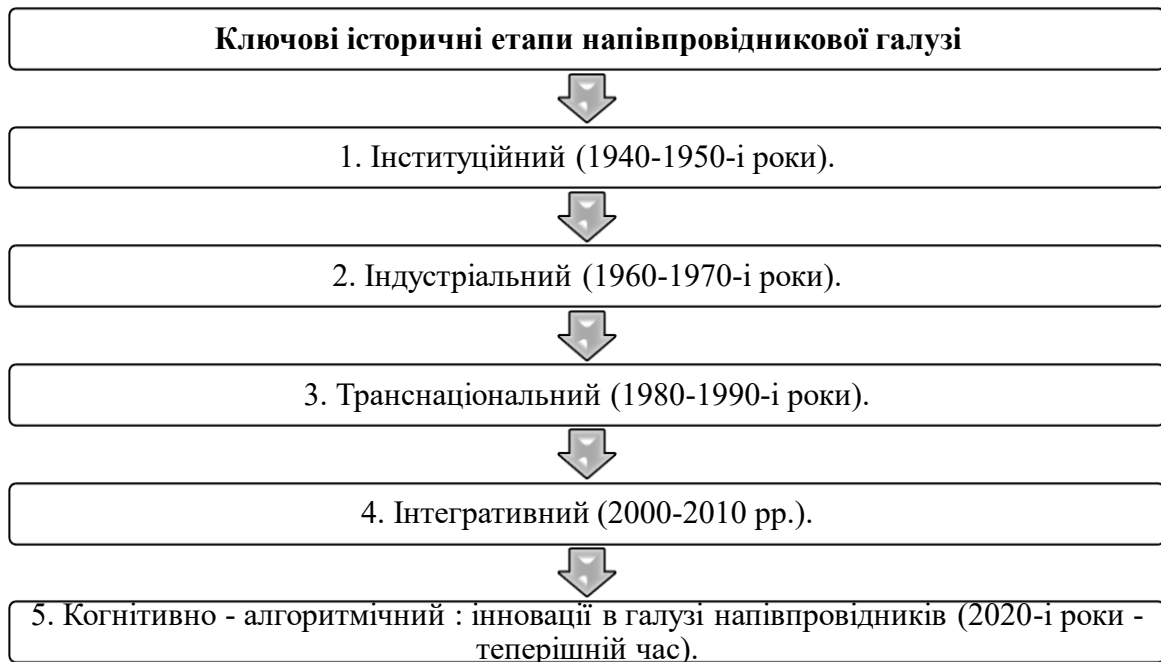


Рис. 1.5. Ключові етапи еволюції напівпровідникової галузі

Джерело: складено автором за [117-127]

1. Інституційний (фундаментальних досліджень). Витоки напівпровідникової промисловості можна віднести до відкриття напівпровідникових матеріалів, таких як кремній і германій, на початку ХХ століття. Однак, справжнє формування цієї галузі відбулося після закінчення Другої світової війни. Поворотним моментом у становленні напівпровідникової індустрії став винахід транзистора у 1947 році в лабораторіях Bell Джоном Бардіном, Уолтером Браттейном і Вільямом Шоклі, що дало потужний імпульс до розвитку галузі [129]. Транзистор, напівпровідниковий елемент, що використовується для підсилення або комутації електронних сигналів, поступово замінив громіздкі вакуумні лампи в електронних пристроях, створивши основу для сучасної електроніки. Період ознаменувався ключовими проривами, які визначили подальший розвиток напівпровідникових технологій. Особливу роль у цьому процесі відіграв Вільям Шоклі, заснувавши компанію Shockley Semiconductor у Кремнієвій

долині, Каліфорнія. Однак група його невдоволених співробітників, відома як «Зрадницька вісімка», у 1957 році залишила компанію та заснувала Fairchild Semiconductor, яка стала фундаментальною складовою ранньої напівпровідникової індустрії [130].

2. Індустріальний (прикладних досліджень). У 1960-х роках відбулася комерціалізація транзистора, що призвело до становлення Кремнієвої долини як центру інновацій у сфері напівпровідників. Компанія Fairchild Semiconductor стала середовищем, сприятливим для розвитку підприємницьких талантів, що спричинило появу таких компаній, як Intel, National Semiconductor та Advanced Micro Devices (AMD). Винахід інтегральної схеми (IC) Джеком Кілбі в Texas Instruments у 1958 році, незалежна розробка Робертом Нойсом у Fairchild Semiconductor у 1959 році стали важливими технологічними проривами, які дозволили мініатюризувати електронні схеми та започаткували еру мікросхем [131].

Закон Мура, вперше сформульований Гордоном Муром, співзасновником компанії Intel, у 1965 році, стверджує, що кількість транзисторів на чіпі подвоюється приблизно кожні два роки, що призводить до експоненційного зростання обчислювальної потужності та економічної ефективності [132]. Спостереження визначало напрямок розвитку галузі протягом наступних десятиліть, формуючи технологічну дорожню карту її прогресу [133]. У 1970-х роках компанія Intel представила перший комерційно успішний процесор, Intel 4004, який став основою сучасних обчислювальних технологій.

3. Транснаціональний (початкової комерціалізації). До 1980-х років напівпровідникова промисловість стала важливою глобальною галуззю. Сполучені Штати Америки домінували на початкових етапах інновацій у сфері напівпровідників [134], проте Японія швидко набрала обертів і стала значним гравцем у цій сфері. Японські компанії, такі як NEC, Toshiba та Hitachi, досягли значних успіхів у технологіях виробництва мікросхем пам'яті, наприклад, у сфері динамічної пам'яті з довільним доступом (DRAM) [135].

Лідерська позиція Японії на ринку мікросхем пам'яті викликало занепокоєння в Сполучених Штатах, що спонукало уряд до активного втручання та створення галузевих коаліцій, таких як SEMATECH, дослідницький консорціум, орієнтований на підвищення конкурентоспроможності США у виробництві напівпровідників [136].

У 1990-х роках Південна Корея та Тайвань стали ключовими гравцями у напівпровідниковій промисловості. Південнокорейська Samsung та тайванська TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) стали відомими як основні світові постачальники мікросхем пам'яті та контрактного виробництва мікросхем відповідно [137]. TSMC, заснована Моррісом Чангом у 1987 році, стала новатором в моделі виробництва без власних виробничих потужностей, що дозволило компаніям зосередитись на проектуванні мікросхем, передаючи процес виготовлення на аутсорсинг спеціалізованим ливарним заводам [138]. Модель заклала основу для широкої глобальної мережі проектування та виробництва напівпровідникової промисловості.

4. Інтегративний (масове виробництво) На початку XXI століття напівпровідникова індустрія набула виняткового значення для формування цифрового середовища. Саме мікроелектронні компоненти стали технологічною основою швидкого поширення мережі Інтернет, розвитку персональних комп'ютерів, мобільних телефонів нового покоління та інших цифрових пристроїв. Зростання кількості електронних продуктів спричинило різке підвищення потреби у мікросхемах із вищою швидкістю обробки інформації, меншими розмірами та нижчим рівнем енергоспоживання. Поширення цифрових сервісів значною мірою пов'язане з діяльністю великих технологічних корпорацій, серед яких важливе місце посіли Apple, Google разом із Microsoft. Розроблення складного програмного забезпечення, інтернет-платформ та мобільних застосунків вимагало використання потужних обчислювальних систем, що стимулювало розвиток високопродуктивних напівпровідникових рішень. Активне зростання мобільного сегмента ринку сприяло посиленню ролі виробників

спеціалізованих чіпсетів. Компанія Qualcomm змогла зайняти провідні позиції у створенні процесорів для мобільних пристроїв. Паралельно з розвитком мобільних технологій укріплювалися позиції виробників контрактної мікроелектроніки. Тайванська компанія TSMC разом із південнокорейською Samsung поступово перетворилися на ключових постачальників послуг виробництва напівпровідників для численних розробників мікросхем. У той самий період корпорація Intel зберігала домінування у сегменті мікропроцесорів, призначених для персональних комп'ютерів та серверної інфраструктури. Поступове ускладнення архітектури мікросхем сприяло появі нових технологічних рішень у галузі проектування напівпровідників. Серед найважливіших інновацій варто відзначити багатоядерні процесори, графічні процесори (GPU), системи на кристалі (SoC), які інтегрують кілька функціональних компонентів у межах одного чіпа. Подібні розробки відкрили можливості для підвищення продуктивності комп'ютерних систем, що мало особливе значення для ігрової індустрії, розвитку штучного інтелекту, становлення хмарних обчислювальних сервісів. У зазначений період структура світового виробництва напівпровідників стала значно більш інтегрованою. Процеси проектування, виготовлення та складання мікросхем розподілилися між різними регіонами світу, що сприяло формуванню складної міжнародної системи виробничої кооперації.

5. Когнітивно-алгоритмічний (високих технологій) На початку третього десятиліття XXI століття напівпровідникова індустрія перетворилася на один із центральних елементів технологічного прогресу. Мікросхеми стали ключовою складовою розвитку напрямів: штучний інтелект; мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління; квантові обчислення; автономний транспорт; складні системи обробки великих масивів даних. У відповідь на нові вимоги технологічні компанії NVIDIA, Intel разом із AMD розпочали активну розробку мікросхем, оптимізованих для обробки навантажень штучного інтелекту. Графічні процесори NVIDIA стали важливою складовою систем навчання моделей машинного навчання, підтримки численних

застосунків штучного інтелекту в різних секторах економіки. Значний вплив на розвиток галузі мав також перехід до мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління. Технологія 5G потребує напівпровідникових компонентів, здатних обробляти значні обсяги даних із дуже високою швидкістю передавання та мінімальною затримкою сигналу. Саме тому виробництво відповідних мікросхем стало важливим напрямом діяльності для компаній Qualcomm разом із MediaTek, які спеціалізуються на створенні мобільних процесорів і чіпсетів для смартфонів нового покоління. У той самий час виробничі гіганти TSMC разом із Samsung продовжили вдосконалювати технології виготовлення напівпровідників, запроваджуючи дедалі менші технологічні вузли, а саме 5-нанометрові та 3-нанометрові мікросхеми.

Суттєві виклики для галузі виникли під час пандемії COVID-19. Порушення міжнародних виробничих процесів разом із різким підвищенням попиту на електроніку призвели до масштабного дефіциту мікросхем. Особливо відчутними наслідки стали для виробників побутової електроніки, автомобільної промисловості, телекомунікаційного обладнання. Подібна ситуація привернула увагу до високої залежності світового виробництва напівпровідників від обмеженої кількості регіональних центрів, серед яких провідні позиції посідають Тайвань та Південна Корея. Реакцією на такі виклики стало посилення державної політики підтримки внутрішнього виробництва мікроелектроніки. Уряди США, країн Європейського Союзу разом із Китаєм спрямували значні фінансові ресурси на розвиток національних виробничих потужностей, прагнучи зміцнити стійкість ланцюгів постачання напівпровідників та зменшити залежність від зовнішніх виробників [139].

У сучасному глобалізованому економічному середовищі стабільність функціонування електронної індустрії значною мірою залежить від узгодженої роботи міжнародних ланцюгів постачання. Особливо важливу роль у такій системі відіграє Азіатсько-Тихоокеанський регіон, де зосереджено значну частину виробничих потужностей для виготовлення

електронних компонентів та складання готових пристроїв. Саме тому регіони Північної та Південної Америки разом із країнами Європи, Близького Сходу та Африки значною мірою покладаються на азійські виробничі центри, які забезпечують ключові елементи глобальної електронної інфраструктури [140].

Виробництво таких стратегічно важливих продуктів, як смартфони, ноутбуки, комп'ютери та інша побутова електроніка, стало можливим завдяки налагодженим міжнародним ланцюгам постачання, які охоплюють кілька континентів. Варто відзначити, що виробничі потужності Азіатсько-Тихоокеанського регіону, а саме Китаю, функціонують у межах багаторівневої системи постачання, яка включає в себе виробництво мікросхем на Тайвані, постачання пасивних компонентів з Індії та забезпечення сировиною з країн регіону ЕМЕА. Складна та багатовекторна структура постачання забезпечує можливість створення кінцевої продукції високої технологічної складності, яка, у свою чергу, експортується до ключових ринків споживання, таких як США, Європа та інші регіони.

Упродовж кількох десятиліть напівпровідникова індустрія сформувалася як одна з найбільш інтегрованих галузей світової економіки. Створення сучасних мікросхем пов'язане з кооперацією підприємств, розташованих у різних державах, оскільки етапи проектування, виготовлення, тестування та складання компонентів часто розподіляються між різними регіонами. Подібна структура виробництва перетворила галузь на складну міжнародну систему взаємозалежних учасників, де діяльність кожного сегмента пов'язана з роботою інших елементів глобальної виробничої мережі. У міру прискорення технологічного прогресу мікроелектронні компоненти зберігають провідне значення для розвитку цифрової економіки. Подальша еволюція індустрії, ймовірно, супроводжуватиметься ще масштабнішими змінами, оскільки поширення штучного інтелекту, квантових обчислювальних систем та мереж зв'язку п'ятого покоління стимулює попит на дедалі складніші та продуктивніші мікросхеми.

Історія становлення напівпровідникової індустрії свідчить про формування розгалуженої міжнародної системи взаємодії між підприємствами, дослідницькими центрами та державними структурами. Розвиток галузі відбувався під впливом одночасної співпраці та суперництва між різними регіонами світу, що сприяло прискоренню технологічних інновацій. Важливою рисою еволюції індустрії стала зміна її організаційної структури. На початкових етапах домінувала інтегрована модель виробництва, відома як Integrated Device Manufacturer (IDM), у межах якої одна компанія виконувала всі стадії створення продукту - від розроблення до виготовлення і тестування мікросхем. Згодом подібна система поступово трансформувалася у вертикально диференційовану структуру, у якій різні компанії спеціалізуються на окремих етапах виробничого процесу, - на проєктуванні, фабричному виготовленні або тестуванні напівпровідників [141].

Розподіл виробничих функцій між спеціалізованими учасниками галузі сприяв значному розширенню географії індустрії. Країни з економікою, що розвивається, отримали можливість долучитися до глобальної мережі виробництва мікроелектроніки через участь у певних сегментах створення вартості. Унаслідок подібних змін виникли нові центри виробництва та технологічної експертизи, які стали важливими елементами світових ланцюгів постачання напівпровідників. Паралельно зі структурними перетвореннями відбулися значні географічні зрушення у розміщенні виробничих потужностей. Якщо на початкових етапах ключові виробничі центри розташовувалися переважно у Сполучених Штатах, то з часом значна частина виробництва перемістилася до держав Східної та Південно-Східної Азії. Подібна тенденція пов'язана з поєднанням економічних чинників, технологічного прогресу, активного поширення виробничих технологій між країнами, що сприяло зміцненню позицій азійських держав у світовій напівпровідниковій індустрії. Подальше зростання масштабів виробництва разом із загостренням конкуренції на міжнародному ринку спричинило ще глибші зміни у структурі галузі. Активний розвиток офшорного розміщення

підприємств призвів до поступового переходу від відносно локалізованих виробничих систем до складних міжнародних ланцюгів постачання, які поєднують виробничі та технологічні процеси на різних континентах [142].

У сучасних умовах розроблення мікросхем, їх виготовлення та подальше постачання кінцевим виробникам електронної продукції здійснюються у межах глобальної мережі підприємств, розташованих у різних країнах. Подібна організація виробництва створює можливості для оптимізації витрат, підвищення ефективності виробничих процесів та швидшого впровадження інновацій. Важливу роль у розвитку напівпровідникової індустрії відіграють кілька груп ключових учасників. До них належать урядові інституції, транснаціональні корпорації, галузеві асоціації. Кожна з названих груп бере участь у формуванні умов розвитку галузі через різні механізми впливу. Державні структури формують політику підтримки технологічного розвитку, сприяють розвитку наукових досліджень та визначають регуляторні правила для ринку. Великі міжнародні корпорації забезпечують інвестиції у розроблення нових технологій, організовують виробничі процеси та формують глобальні ланцюги постачання. Галузеві об'єднання сприяють координації діяльності учасників ринку, поширенню технологічних стандартів та розвитку міжнародної співпраці. Спільна діяльність зазначених суб'єктів формує основу інноваційного розвитку напівпровідникової промисловості та забезпечує її подальшу інтеграцію у структуру світової економіки.

До ключових категорій учасників сучасного світового ринку напівпровідників, які формують його структурно-функціональну архітектуру та ланцюги вартості, належать такі:

1. Транснаціональні корпорації (БНП). Великі транснаціональні корпорації, такі як Intel, Samsung, TSMC, NVIDIA та Qualcomm, є рушійною силою інновацій у напівпровідниковій промисловості. Дані компанії щорічно інвестують мільярди доларів у дослідження та розробки, щоб підтримувати своє технологічне лідерство. Так, такі компанії, як Intel та TSMC, створили глобальні інноваційні мережі, використовуючи досвід науково-дослідних

інститутів та невеликих фірм у всьому світі для підтримки своєї конкурентної переваги. Компанії також займаються вертикальною інтеграцією, купуючи компанії у різних сегментах ланцюжка постачання, щоб зберегти контроль над важливими технологіями [143].

2. Уряди. Уряди відіграють вирішальну роль у формуванні світової напівпровідникової промисловості за допомогою регулювання, субсидій та торговельної політики. Наприклад, уряд США ввів експортний контроль напівпровідникових технологій, щоб запобігти їх потраплянню до рук ворожих країн, таких як Китай [144]. Уряди вкладають значні кошти у внутрішню напівпровідникову промисловість, щоб забезпечити технологічний суверенітет. Закон США про CHIPS та стратегію Європейського союзу Digital Compass є яскравими прикладами державного втручання, спрямованого на зміцнення внутрішніх можливостей виробництва напівпровідників.

3. Галузеві асоціації та органи стандартизації [145]. Організації, такі як SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) та JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council), виконують важливу роль у встановленні галузевих стандартів і сприянні співпраці в рамках глобального ланцюга постачання напівпровідників. Стандартизація є досить важливою в напівпровідниковій промисловості, де взаємодія між компонентами та процесами є життєво необхідною для забезпечення ефективного виробництва. Асоціації також створюють платформу для спільних зусиль у сфері наукових досліджень і розробок, об'єднуючи компанії, дослідницькі інститути та уряди для вирішення спільних завдань, таких як розробка архітектур мікросхем наступного покоління та впровадження стійких методів виробництва.

Напівпровідникова промисловість, будучи ключовим ресурсом для забезпечення військової та економічної безпеки країни чи регіону, не повністю відповідає неокласичній моделі вільної ринкової конкуренції. Значною мірою вона підпадає під вплив національної могутності та державних інтересів. Провідні світові держави усвідомлюють стратегічну важливість

напівпровідникових технологій, що стимулює їх до активної підтримки розвитку національних виробничих потужностей через промислову політику. Він включає пряму державну підтримку, фінансування наукових досліджень та розвиток інноваційної інфраструктури, що має на меті посилення внутрішніх конкурентних переваг на глобальному ринку.

Реконструкція глобальної виробничої мережі напівпровідникової промисловості, що спостерігається протягом останніх десятиліть, є результатом сукупного впливу декількох факторів. В першу чергу, національна галузева політика, спрямована на підтримку критичних технологій та створення сприятливих умов для розвитку місцевого виробництва, що відіграє важливу роль у формуванні нових ланцюгів доданої вартості [146]. Також важливими є глобальні зв'язки між фірмами, які взаємодіють у межах міжнародних ланцюгів постачання, що адаптуються до динамічних змін на ринку [147]. У результаті цієї взаємодії створюються нові форми співробітництва між державами, корпораціями та науковими установами, що сприяють подальшій еволюції галузі та підвищенню її стратегічної значущості в контексті глобальної економічної та політичної конкуренції.

Напівпровідникова промисловість характеризується високими бар'єрами для входу, що зумовлено необхідністю значних інвестицій у капітал, технології, людські ресурси та виробничі потужності [148]. Розвинені країни, такі як Сполучені Штати, традиційно володіють перевагою новатора, що дозволяє їм утримувати лідерські позиції у галузі. Після завершення формування глобальної структури напівпровідникової промисловості, заснованої на принципах ефективності, країни та фірми, які мають такі переваги, зазвичай використовують різні інструменти, такі як патенти, закони, альянси та державна політика, для створення бар'єрів для входу нових гравців з країн з економікою, що розвивається [149].

Розподіл вартості в глобальному економічному середовищі є надзвичайно нерівномірним, що підтверджується дослідженнями [150]. На

сучасному етапі жодна країна або підприємство не має можливості покрити всі виробничі ланки напівпровідникового виробничого ланцюга самостійно. Географічний розподіл ланцюгів доданої вартості та глобальні економічні та торговельні відносини стають дедалі складнішими [151]. Оскільки виробничі системи напівпровідників поширюються по всьому світу, багато країн активно беруть участь у глобальній торгівлі напівпровідниковою продукцією, яка включає як сировину, так і виробниче обладнання та готову продукцію з різними рівнями вартості.

Однією з найсуттєвіших тенденцій, що сьогодні формують напівпровідникову промисловість, є процес ринкової консолідації. Він стає більш помітним внаслідок зростаючої складності та витрат на дослідження, розробки і виробництво в цьому секторі. Напівпровідникова промисловість, яка традиційно характеризується високим рівнем конкуренції та численними спеціалізованими учасниками, нині переживає активізацію процесів злиття та поглинання, оскільки компанії прагнуть інтегрувати свої ресурси, експертні знання та можливості. Консолідація зумовлена необхідністю підтримувати технологічні інновації при управлінні фінансовими витратами, пов'язаними з розробкою передових напівпровідникових технологій.

Основним чинником, що сприяє консолідації в напівпровідниковій промисловості, є зростаюча вартість інновацій. Розробка передових напівпровідникових продуктів, особливо в таких сферах, як мікросхеми штучного інтелекту, технології 5G та високопродуктивні обчислювальні процесори, вимагає значних інвестицій у дослідження та розробки (ДіР). В умовах наближення закону Мура до своїх фізичних меж виробники мікросхем змушені досліджувати нові технології, такі як 3D-укладання мікросхем, екстремальна ультрафіолетова літографія (EUV) та використання нових матеріалів, нітрид галію та карбід кремнію. Досягнення вимагають не лише висококваліфікованих експертних знань, а і значних капіталовкладень, що спонукає компанії до консолідації своїх ресурсів через процеси злиттів і поглинань. У зв'язку зі зростанням витрат на наукові дослідження та дослідно-

конструкторські роботи виробництво напівпровідників стає все більш капіталомістким. Виготовлення сучасних мікросхем, тих, що виробляються за передовими технологічними вузлами, такими як 5 нм та 3 нм, потребує багатомільярдних інвестицій у виробничі потужності та обладнання. Наприклад, компанії TSMC та Samsung інвестували десятки мільярдів доларів у розробку новітніх виробничих підприємств з метою збереження своїх лідируючих позицій на світовому ринку. Менші компанії, які не можуть здійснювати за обсягами такі великі інвестиції, з великою ймовірністю об'єднуються з більшими компаніями або будуть поглинуті, що ще більше прискорить процес консолідації. Об'єднання ресурсів через злиття дозволяє компаніям розподілити тягар цих значних капітальних витрат і досягти підвищення ефективності завдяки масштабам виробництва.

Розглянуті концептуальні засади мережевої взаємодії на світовому ринку напівпровідників, поряд із характеристикою консолідаційних процесів та системних залежностей між учасниками глобальних ланцюгів вартості, формують необхідне теоретичне підґрунтя для подальшої кількісної оцінки структурної вразливості галузі. Розроблений у межах дисертаційного дослідження економіко-математичний інструментарій, представлений у підрозділі 2.2 дисертації, виступає прикладним продовженням мережевої концепції та забезпечує перехід від описового аналізу міжсегментних взаємодій до їх формалізованого вимірювання через моделювання каскадного поширення шоків між шістьма ключовими вузлами напівпровідникової індустрії.

Висновки до розділу 1

1. Високотехнологічний сектор постає базовою підсистемою сучасної економіки знань, у межах якої інтелектуальний капітал, наукові розробки та інформаційно-комунікаційні технології перетворюються на головні джерела створення доданої вартості. Його теоретична природа найповніше

розкривається на перетині кількох дослідницьких традицій - концепцій економіки знань і цифрової трансформації, теорії інноваційної динаміки та підходу глобальних вартісних ланцюгів, - які у поєднанні окреслюють цей сектор як сукупність наукоємних видів економічної діяльності з високою інтенсивністю досліджень і розробок, інтегрованих у глобальні інноваційні мережі. Саме така інтеграція формує підвалини постіндустріальної моделі розвитку. Напівпровідникові технології впродовж останніх десятиліть зазнали докорінної метаморфози - від допоміжного виробничого компонента до фундаментального ядра глобальної техноекономічної парадигми, яке нині задає контури світового конкурентного суперництва, опосередковує перерозподіл технологічної ренти та визначає розстановку сил у геоекономічному просторі.

2. Економічна модель індустрії напівпровідників в умовах глобального економічного розвитку формується під потужним впливом технологічних, економічних, інституційних, ресурсних та геополітичних детермінантів, які є тісно взаємопов'язаними і визначають траєкторії її еволюції. Синергетична дія зазначених детермінантів зумовлює становлення інноваційно орієнтованої моделі розвитку ринку напівпровідників. В її основу покладено первинність національного технологічного суверенітету, розбудову розгалужених і диверсифікованих ланцюгів створення вартості та підвищену здатність галузевої екосистеми абсорбувати зовнішні шоки й геоекономічні обмеження. Кожна з груп детермінантів задає власний вектор структурних перетворень, проте лише їх взаємне підсилення формує цілісну логіку розвитку галузі. Унаслідок цього напівпровідникова індустрія дедалі виразніше набуває рис стратегічного ресурсу, навколо якого вибудовується сучасна геоекономічна та геотехнологічна конкуренція держав і корпорацій.

3. Світова напівпровідникова галузь упродовж останніх восьмидесяти років перебуває у процесі постійних еволюційних трансформацій, які супроводжуються зміною технологічних поколінь виробництва, появою ключових інновацій, динамікою досліджень і розробок, трансформацією

бізнес-моделей, ускладненням структури доданої вартості, інтенсифікацією злиттів і поглинань та модифікацією домінуючих інструментів державної промислової політики й експортного регулювання. Кожен етап еволюційного поступу напівпровідникового сектору характеризувався власними іманентними рисами та специфікою зміни технологічних укладів. У своєму розвитку галузь послідовно пройшла кілька етапів - від інституційного до індустріального, з подальшим переходом до транснаціонального, інтегративного та когнітивно-алгоритмічного. Саме на останньому з них формується якісно нова конфігурація глобальної конкуренції, в основі якої лежать технології штучного інтелекту та високопродуктивні обчислення.

4. Мережева концепція виступає провідним аналітичним інструментом дослідження сучасної напівпровідникової індустрії, оскільки розкриває галузь не як сукупність відокремлених виробників, а як цілісну систему формалізованих взаємозв'язків між транснаціональними корпораціями, постачальниками, дослідницькими установами, регуляторами та споживачами. У межах цієї системи створюється додана вартість, а самі учасники виявляються пов'язаними щільними технологічними та коопераційними залежностями. Висока взаємозалежність вузлів галузі формує її подвійну природу: вона водночас забезпечує ефект масштабу й синергію інновацій і породжує системну вразливість до екзогенних шоків, за якої збій в окремому сегменті здатний каскадно поширюватися ланцюгом створення вартості.

5. Консолідаційні процеси та міжсегментні залежності у глобальних ланцюгах створення вартості становлять органічну рису мережевої організації напівпровідникової галузі. Зростання капіталомісткості виробництва та витрат на дослідження і розробки спонукає учасників ринку до концентрації ресурсів, унаслідок чого злиття і поглинання перетворюються на ключовий механізм структурування галузі та консолідації її технологічних компетенцій. Такі процеси, з одного боку, поглиблюють концентрацію технологічної влади у вузькому колі провідних гравців, а з іншого - формують теоретичне підґрунтя

для оцінювання структурної вразливості галузі та її стійкості до зовнішніх збурень.

6. Технології штучного інтелекту виступають ключовим детермінантом сучасної трансформації високотехнологічного сектору. Здатність забезпечити апаратну базу для інтелектуальних обчислювальних систем - графічні процесори, спеціалізовані прискорювачі та нейроморфні чипи - дедалі більшою мірою визначає ринкові позиції національних економік і провідних корпорацій. У такий спосіб штучний інтелект перетворюється з прикладної технології на системоформуючий чинник конкурентоспроможності, навколо якого реконфігурується попит на напівпровідникову продукцію та вибудовуються нові стратегії технологічного лідерства.

Результати дослідження в рамках розділу 1 представлено в публікаціях здобувача [180], [184], [185].

РОЗДІЛ 2

ГЛОБАЛЬНИЙ КОНКУРЕНТНИЙ ЛАНДШАФТ СВІТОВОГО РИНКУ НАПІВПРОВІДНИКІВ

2.1. Сучасні тренди конкурентної еволюції ринку напівпровідників

Напівпровідники являють собою основні електронні схеми або блоки, виготовлені з таких матеріалів, як кремній, германій, карбід кремнію та інших. Ринок напівпровідників потенційно зростає зі зростанням використання електроніки та інтеграції до таких додатків, як мережеві комунікаційні пристрої, обробка даних, системи промислової автоматизації, побутова електроніка, автомобілебудування та державні проекти. У контексті сучасної глобальної цифрової трансформації ринок напівпровідників набуває статусу стратегічно важливого елементу формування та функціонування високотехнологічної економіки. Ринок напівпровідників забезпечує технологічну основу для провідних галузей сучасної економіки з диференціацією за ступенем безпосередності зв'язку. До галузей із прямою технологічною залежністю належать телекомунікації, обчислювальна техніка та центри обробки даних, напівпровідникова складова автомобілебудування (ADAS, інвертори електромобілів), авіаційно-космічна промисловість, оборонна електроніка, побутова та промислова автоматика. До галузей із опосередкованим зв'язком належать енергетика (smart-grid), охорона здоров'я (телемедицина), фінансовий сектор (дата-центри), логістика (IoT) та індустрія штучного інтелекту, для якої графічні процесори і неморфні чипи становлять апаратний фундамент [153].

Напівпровідникова галузь, будучи ядром сучасного інноваційного циклу, перебуває у стані постійної динамічної трансформації. Ці процеси трансформації обумовлені зростанням глобального попиту на мікроелектронні компоненти, ускладненням виробничих процесів, інтенсифікацією

автоматизації виробництва, загостренням геоекономічної конкуренції між провідними технологічними державами.

Конкурентна еволюція галузі супроводжується низкою значущих структурних та стратегічних змін, серед яких ключовими є посилення вертикальної інтеграції, активне розширення foundry-моделі контрактного виробництва, зростання обсягів інвестицій у наукові дослідження та розробки, тенденції до консолідації через процеси злиття та поглинання. Викликами галузі виступають ризики дестабілізації глобальних ланцюгів постачання, фрагментація ринку внаслідок політики технологічної незалежності окремих країн та посилення державного втручання у формування стратегій технологічного розвитку.

Нинішня динаміка галузі дає підстави для панорамного огляду провідних трендів розвитку світового ринку напівпровідників. Ці тренди відображають перетворення конкурентної структури ринку в бік становлення багаторівневої системи технологічних центрів та посилення боротьби за контроль над критичними сегментами глобального ланцюга створення вартості. Серед них:

- посилення геоекономічної фрагментації та регіоналізації виробництва,
- формування поліцентричної моделі технологічного лідерства,
- загострення міждержавного технологічного суперництва,
- інтенсифікація протекціоністських заходів,
- розширення практик експортного контролю та державного субсидування національних виробників,
- поглиблення вертикальної інтеграції ключових сегментів напівпровідникового ланцюга створення вартості,
- масштабування контрактного виробництва напівпровідників,
- зростання інвестицій у дослідження і розробки у сфері мікроелектроніки,
- активізація процесів злиттів і поглинань.

З початку 1990-х років глобальна напівпровідникова промисловість зазнала істотних трансформацій, які стали результатом глибоких технологічних змін та перерозподілу економічного впливу між країнами. Якщо на початковому етапі розвитку галузі провідні позиції утримували європейські та американські компанії, то впродовж останніх десятиліть спостерігається чітка тенденція до географічної децентралізації виробництва на користь країн Азіатсько-Тихоокеанського регіону[154].

Представлені дані на рис. 2.1 відображають динаміку змін у структурі світового виробництва напівпровідникової продукції за країнами та регіонами у період з 1990 по 2032 рік (з урахуванням прогнозних оцінок на період після 2025 року), що дозволяє простежити глобальні зрушення в центрі технологічної ваги індустрії.

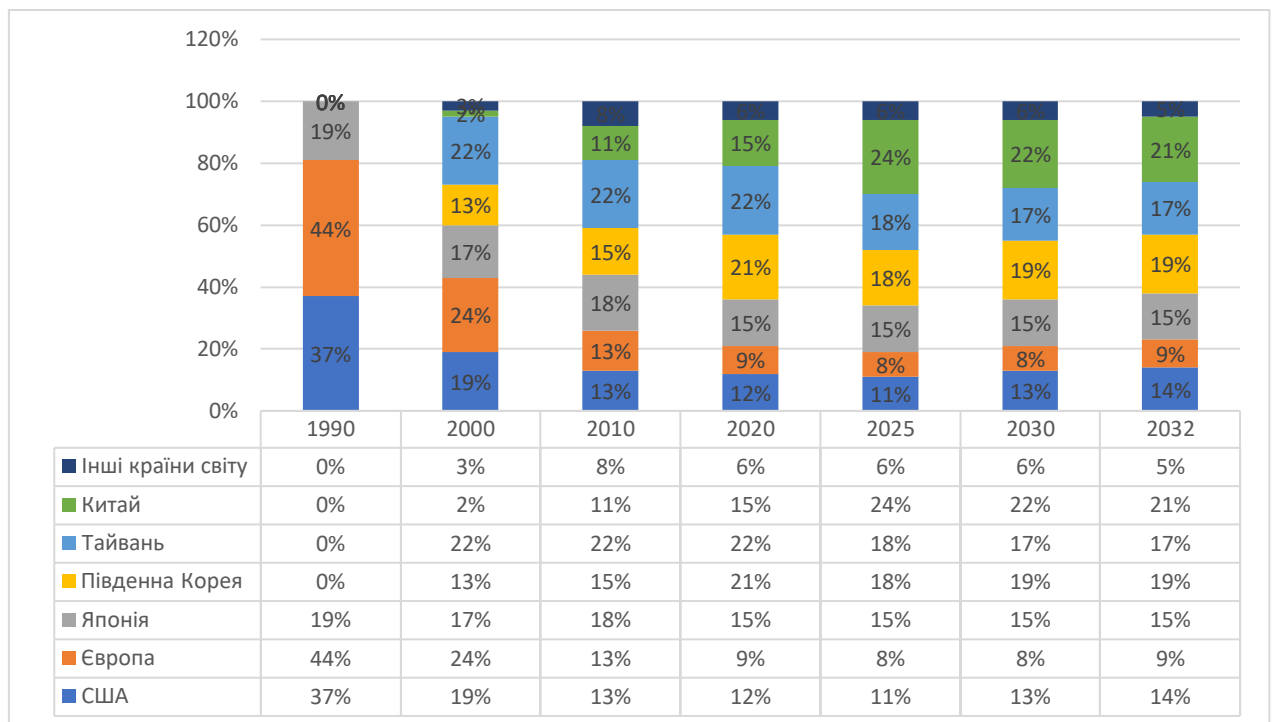


Рис. 2.1. Динаміка географічної структури виробництва напівпровідників в 1990-2032 (2025-2032 рр. - прогнозні значення), %

Джерело: складено автором за [155-157]

Однією з найпомітніших структурних трансформацій у глобальному розподілі виробничих потужностей у сфері напівпровідників є скорочення

частки Сполучених Штатів Америки. Якщо у 1990 році США утримували провідну позицію з часткою близько 37% у світовому виробництві, то за прогнозами, до 2032 року цей показник зменшиться до 14%. Така динаміка зумовлена загальною тенденцією до аутсорсингу виробничих процесів, активним розвитком спеціалізованих центрів з виробництва напівпровідників в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні.

У протилежному напрямі розвивається ситуація в Китайській Народній Республіці, де спостерігається інтенсивне зростання частки у світовому виробництві. Розпочавши з фактично нульових позицій у 1990 році, Китай реалізував масштабну стратегію державної підтримки, що включає цільові інвестиції, інституційне стимулювання та створення інноваційної екосистеми. У результаті, за прогнозами, до 2032 року частка Китаю у світовому виробництві напівпровідників досягне 21%, що є найвищим показником серед усіх регіонів.

Тайвань і Південна Корея за останні десятиліття перетворилися на ключових глобальних гравців у галузі. За оцінками, у 2032 році на Тайвань припадатиме 16%, а на Південну Корею - 17% світового виробництва напівпровідникової продукції. Їхнє зростання стало результатом цілеспрямованої політики державної підтримки, інвестицій у науково-дослідні розробки та формування конкурентоспроможних компаній світового рівня. На сьогодні тайванська корпорація TSMC відіграє ключову роль у виробництві найсучасніших чіпів, тоді як Samsung Electronics та SK Hynix забезпечують лідерські позиції Південної Кореї у виробництві пам'яті та інших критичних компонентів.

Таким чином, трансформація географічної структури виробництва напівпровідників свідчить про зростаючу регіоналізацію і стратегічну переорієнтацію галузі, де країни Азії дедалі більше конкурують з історичними лідерами у високотехнологічному секторі.

Пандемія COVID-19 продемонструвала критичну вразливість глобального ланцюга постачання в напівпровідниковій промисловості,

особливо в контексті надмірної концентрації виробничих потужностей у декількох регіонах. У відповідь на ці виклики провідні економіки світу, так як Сполучені Штати Америки, Європейський Союз, Південна Корея, Китай та інші країни, ініціювали масштабні програми, спрямовані на підвищення регіональної самодостатності та незалежності шляхом локалізації виробництва напівпровідників на своїх територіях. Загальний обсяг інвестицій, передбачений для реалізації цих ініціатив у період з 2023 по 2027 роки, оцінюється приблизно у 400 млрд. дол. США, що підкреслює масштаб і стратегічну важливість процесу диверсифікації глобального виробництва напівпровідників.

Таблиця 2.1

Стратегії державної підтримки розвитку напівпровідникової промисловості у провідних країнах світу

Країна, що має стратегію	Характеристика стратегічних кроків
США	Станом на 2024 рік було видано 29,5 млрд. дол. США грантів і 25,1 млрд. дол. США кредитів було схвалено для 9 компаній за 18 проектами в 12 штатах. Ці проекти передбачають загальні інвестиції у розмірі понад 348 млрд. дол. США за два десятиліття, причому очікується, що переважна більшість буде інвестована до 2030 року.
Європейський Союз	Передбачає стимули у розмірі 46 млрд. євро (гранти поки що не надані)
Індія	Планується витратити 10 млрд дол. США на стимулювання напівпровідникової галузі, що становитиме до половини вартості проекту
Японія	Плани з інвестування 7 млрд дол. США між нещодавно створеними Rapidus та TSMC
Південна Корея	Залучає 50 млрд дол. США інвестицій через 20% податкову пільгу, забезпечуючи підтримку, еквівалентну 90 млрд дол. США
Тайвань	Підприємства можуть скористатися податковим відрахуванням у вигляді 25% на витрати на ДіР і відрахуванням у вигляді 5% на витрати на нове устаткування, використовуване передових процесах.
Китай	Китай протягом десятиліття просував внутрішню напівпровідникову промисловість за допомогою інвестиційних фондів, включаючи Національний інвестиційний фонд інтегральних схем (21 млрд. дол. США у 2014 р., 35 млрд. дол. США у 2019 р. та 41 млрд. дол. США у 2023 р.) та місцевих фондів, стимулів, таких як податкові пільги. Загальний обсяг державних інвестицій перевищить 190 млрд. дол. США до 2030 року

Джерело: складено автором за [155-157]

Сектор напівпровідників відіграє провідну роль у процесі трансформації глобального технологічного ландшафту під впливом стрімкого розвитку штучного інтелекту (ШІ). Зростання популярності споживчих чат-ботів і впровадження інтелектуальних функцій у програмне забезпечення бізнес-сегменту (B2B) зумовлює зростаючу залежність від високопродуктивних чипів, які забезпечують обчислювальну потужність необхідну для реалізації таких рішень. У цьому контексті відбувається стійке зростання попиту на спеціалізовані напівпровідникові компоненти, графічні процесори (GPU), які завдяки своїм можливостям паралельної обробки даних є ключовими елементами інфраструктури ШІ [157; 158]. Впровадження передових ШІ-інструментів суттєво підвищує продуктивність та ефективність на всіх етапах виробничого циклу [158; 159]. Показовим прикладом є заява компанії Samsung Electronics у березні 2023 року про намір інвестувати 230 млрд. дол. США протягом найближчих 20 років у рамках реалізації національної стратегії Південної Кореї, що передбачає створення найбільшого у світі кластеру з виробництва напівпровідників поблизу Сеула. Цей масштабний інвестиційний проєкт свідчить про прагнення Samsung зберегти провідні позиції на глобальному ринку мікроелектроніки та підтримати стратегічну мету Південної Кореї - стати світовим центром напівпровідникової індустрії.

Компанії на зразок Synopsys активно впроваджують ШІ-рішення, як-от DSO.ai™, що здійснили прорив у сфері автоматизованого проєктування мікросхем. Ці технології дозволили значно скоротити тривалість проєктного процесу, оптимізувати його складні етапи, підвищити продуктивність та забезпечити масштабованість рішень. Така інтеграція ШІ трансформує фазу проєктування, сприяє прискоренню виходу нових продуктів на ринок.

У 2015 році загальні середні витрати галузі напівпровідників на дослідження та розробки становили 45% від її прибутку до відрахування відсотків та податків (EBIT), але до 2024 року вони становили, за оцінками, 52% від того ж показника. Отже, витрати на дослідження та розробки

зростають на 12% сукупного середньорічного темпу зростання (CAGR), тоді коли ЕВІТ збільшився за період лише на 10%.

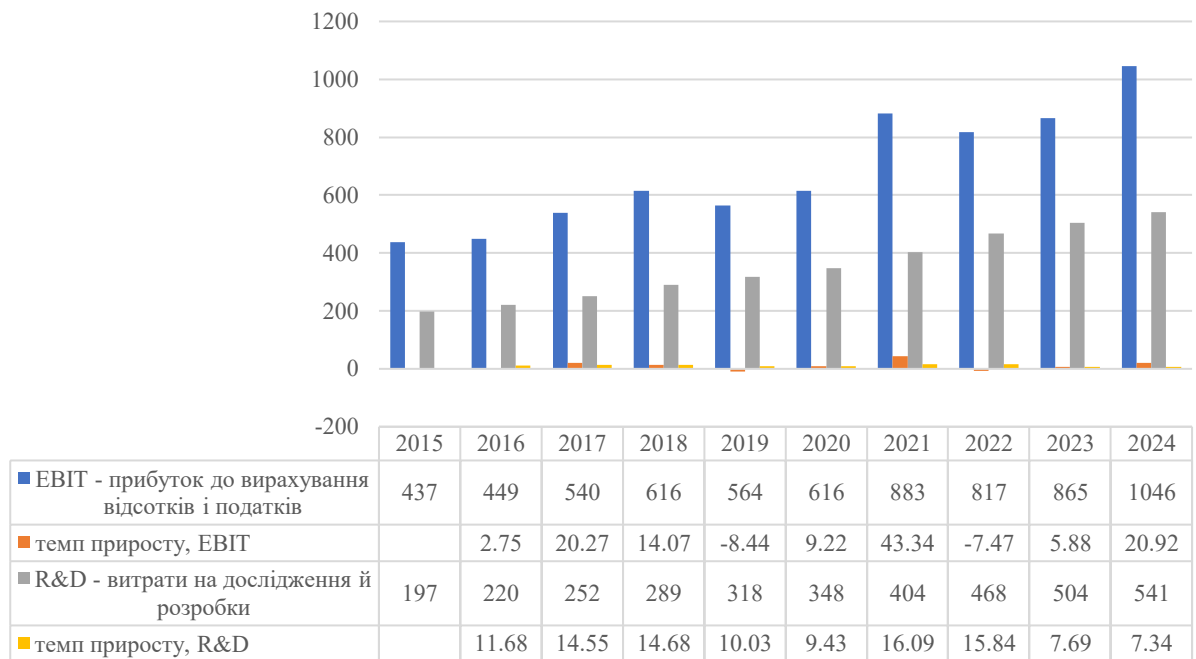


Рис. 2.2. Динаміка корпоративних доходів та витрат на дослідження та розробки галузі напівпровідників в світі в 2015-2024 рр., млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [147]

У сучасному напівпровідниковому секторі спостерігається надзвичайно високий рівень концентрації капіталу: 30 провідних компаній акумулюють 94,53% загального обсягу ринкової капіталізації, що становить 8475,74 млрд дол. США із загальної суми 8966 млрд дол. США. Такий рівень централізації фінансових ресурсів у межах обмеженої кількості корпоративних суб'єктів свідчить про домінування великих гравців, що істотно впливають на формування конкурентного середовища та визначають вектор розвитку галузі напівпровідників. Деталізований ТОП-30 світових компаній напівпровідникової промисловості за рівнем ринкової капіталізації у Q2 2024 - Q1 2025 рр. наведено в додатку К.

Структура ринку демонструє виражене домінування компанії NVIDIA, ринкова капіталізація якої у 2024 році сягнула 3462 млрд. дол. США, що становить 38,61% від загального ринку. Цей показник перевищує сумарну капіталізацію наступних чотирьох провідних компаній (Broadcom, TSMC, ASML, Samsung), що вказує на ознаки монопольної концентрації. Лідерство NVIDIA пояснюється різким зростанням глобального попиту на продукцію, орієнтовану на обчислювальні архітектури для штучного інтелекту та графічної обробки даних.

Визначальний вплив на розвиток світового ринку напівпровідників здійснюють компанії зі Сполучених Штатів Америки. Із тридцяти найбільших компаній двадцять мають штаб-квартиру в США, контролюючи більшість глобальної ринкової капіталізації. Американські корпорації лідирують у стратегічно важливих напрямках - розробці мікропроцесорів (NVIDIA, AMD, Intel), виробництві спеціалізованого технологічного обладнання (Applied Materials, Lam Research), створенні програмного забезпечення для автоматизованого проектування мікросхем (Synopsys), що відображає технологічне домінування США в інноваційних сегментах галузі.

Наведені дані уможливають бенчмаркінг регіональних сегментів світового ринку напівпровідникової продукції за сукупністю авторських критеріїв. До них належать: рівень технологічної складності виробництва, частка регіону у глобальних дослідженнях і розробках у сфері мікроелектроніки, рівень інноваційної активності напівпровідникового сектору, ступінь концентрації виробничих потужностей, рівень вертикальної інтеграції регіональної індустрії, ступінь залежності від імпорту критичних компонентів та обладнання, а також рівень регуляторної підтримки галузі. Порівняння регіонів за цими критеріями демонструє глобальне лідерство Сполучених Штатів Америки за ключовими ланками напівпровідникового ланцюга створення вартості, що закріплює їхні домінівні позиції у світовій технологічній ієрархії та посилює регіональну асиметричність глобальної напівпровідникової екосистеми.

Разом із тим, вагому роль у формуванні глобального ринку відіграють країни Азіатсько-Тихоокеанського регіону, такі як: Тайвань (TSMC, Marvell), Південна Корея (Samsung, SK Hynix), Китай (SMIC, Cambricon, Monolithic Power Systems) та Японія (Tokyo Electron, Advantest, Microchip Technology). Найпотужнішим представником регіону є компанія TSMC з ринковою капіталізацією 1094 млрд дол. США (з питомою вагою в 12,20 %), яка виступає ключовим глобальним контрактним виробником мікросхем (foundry), забезпечуючи критично важливі ланки світових ланцюгів постачання.

Аналіз кадрової структури провідних компаній свідчить, що загальна чисельність персоналу серед учасників рейтингу ТОП-30 перевищує 1,1 млн осіб (за наявними неповними даними). Найбільшими роботодавцями виступають Intel (108,9 тис. працівників), Infineon (57,4 тис.) та QUALCOMM (49 тис.). Висока ринкова капіталізація при відносно невеликій чисельності персоналу, як у випадку з NVIDIA (36 тис. осіб), засвідчує високу капіталомісткість бізнес-моделі та ефективне використання інтелектуального потенціалу та технологічних інновацій. Структурний аналіз глобального ринку напівпровідників за показниками доходів засвідчує високий ступінь концентрації фінансових надходжень у межах ТОП-30 провідних компаній.

Сукупний дохід 30 найбільших підприємств галузі становив 983,34 млрд. дол. США [149], що відповідає 89,39% загального обсягу світових доходів (1100 млрд. дол. США). Такий розподіл є свідченням наявності глибокої олігополістичної структури ринку, в межах якої домінуючи суб'єкти зосереджують основні фінансові ресурси та суттєво впливають на ринкову динаміку.

Лідруючу позицію за обсягом доходів утримує Samsung, на яку припадає 19,96% світового ринку (219,58 млрд. дол. США). На другому місці перебуває компанія NVIDIA з доходом 148,51 млрд. дол. США (13,50%), що відображає її динамічне зростання зумовлене підвищеним попитом на продукти, які орієнтовані на штучний інтелект та високопродуктивні обчислювальні системи. Третю позицію посідає TSMC - провідний

контрактний виробник мікросхем, що забезпечив 8,03% загальносвітових доходів (88,34 млрд. дол. США), підкреслюючи стратегічну значущість моделі foundry у забезпеченні стабільності глобального виробничо-технологічного ланцюга.

Таблиця 2.2

**ТОП-30 компаній напівпровідникової галузі за рівнем доходів в за
результатом 2-4 кв. 2024 - 1 кв. 2025 року**

Рейтинг	Назва компанії	Дохід, млрд. дол. США	Питома вага компанії в світових доходах компаній, %
1	Samsung	219,58	19,96
2	NVIDIA	148,51	13,50
3	TSMC	88,34	8,03
4	Broadcom	54,52	4,96
5	Intel	53,04	4,82
6	SK Hynix	50,79	4,62
7	QUALCOMM	42,28	3,84
8	ASML	30,6	3,00
9	Micron Technology	31,3	2,85
10	Applied Materials	28,08	2,55
11	AMD	27,75	2,52
12	ASE Group	18,8	1,71
13	Lam Research	17,13	1,56
14	MediaTek	16,92	1,54
15	Texas Instruments	16,04	1,46
16	Infineon	15,79	1,44
17	Tokyo Electron	12,47	1,13
18	NXP Semiconductors	12,32	1,12
19	STMicro-electronics	12,32	1,12
20	KLA	11,55	1,05
21	Analog Devices	9,81	0,89
22	Renesas Electronics	9,65	0,88
23	SMIC	8,02	0,73
24	United Microelectronics	7,24	0,66
25	GlobalFoundries	6,78	0,62
26	ON Semiconductor	6,66	0,61
27	Marvell Technology	6,5	0,59
28	Amkor Technology	6,27	0,57
29	Synopsys	6,22	0,57
30	Coherent Corp.	5,59	0,51
	Всього ТОП-30	983,34	89,39
142	Всього	1100	100,00

Джерело: складено автором за [149]

До п'ятірки лідерів входять Broadcom (4,96%) та Intel (4,82%), які утримують свої ринкові позиції завдяки диверсифікації продуктового

портфеля в таких напрямках, як мікросхемні рішення, телекомунікаційне обладнання та високопродуктивні обчислювальні системи. Високі доходи демонструють компанії SK Hynix, QUALCOMM та ASML, кожна з яких має ринкову частку понад 3%, що демонструє стабільність їх бізнес-моделей та технологічного потенціалу. У десятку найбільших виробників увійшли Micron Technology, Applied Materials та AMD - провідні учасники відповідно у сегментах мікросхем пам'яті, виробничого обладнання та мікропроцесорів.

Присутність у переліку лідерів таких компаній, як Synopsys (розробник програмного забезпечення для автоматизованого проектування мікросхем) та Coherent Corp. (спеціалізується на фотоніці та лазерних технологіях) підтверджує зростання ролі нішевих інноваційних гравців у формуванні технологічних трендів галузі, ускладнення виробничої та науково-технічної структури сучасного ринку напівпровідників.

Дані щодо обсягу чистого прибутку компаній на світовому ринку напівпровідників засвідчує високий рівень фінансової концентрації та ефективність функціонування компаній в напівпровідниковій промисловості. Обсяг чистого прибутку 30 найбільших компаній склав 286,7 млрд. дол. США в 2-4 кв. 2024 - 1 кв. 2025 року. Деталізований ТОП-30 світових компаній напівпровідникової галузі за рівнем чистого прибутку у Q2 2024 - Q1 2025 рр. наведений у додатку Л.

Найбільше значення чистого прибутку демонструє корпорація NVIDIA, яка отримала 88,9 млрд. дол. США, або 31,01% від загального обсягу прибутку компаній рейтингу ТОП-30. Показник відображає надзвичайно високу ефективність операційної діяльності, що є наслідком домінування на ринку графічних процесорів та рішень для штучного інтелекту, які характеризуються високою доданою вартістю та зростаючим попитом. Частка прибутку NVIDIA майже удвічі перевищує аналогічний показник TSMC - найбільшого контрактного виробника мікросхем, чий чистий прибуток становив 42,91 млрд. дол. США, що складає 14,97% в ТОП-30, і підтверджує ефективність моделі «foundry» як стратегічного напрямку розвитку у сучасному

технологічному ланцюзі створення вартості.

Компанія Samsung, що посіла третє місце за рівнем чистого прибутку (27,89 млрд. дол. США, або 9,73% в рейтингу ТОП-30), демонструє відносно нижчу прибутковість порівняно з NVIDIA, попри першість за обсягом доходу. Компанії SK Hynix (з часткою 8,02% в ТОП-30) і Broadcom (6,26%) також увійшли до п'ятірки лідерів, що вказує на їх сильні позиції в галузі мікросхем пам'яті та мережевої інфраструктури.

Серед інших високоприбуткових компаній вирізняються QUALCOMM (з часткою 4,28% в рейтингу ТОП-30), ASML (3,95%) та Applied Materials (2,98%), прибутковість яких обумовлена стратегічним значенням їхніх продуктів у галузі телекомунікацій, напівпровідникового обладнання та фотолітографії. До десятки найбільш прибуткових також увійшли Micron Technology (з часткою 2,32% в рейтингу ТОП-30) і Texas Instruments (2,08%), що свідчить про стабільність традиційних сегментів, мікросхем пам'яті та аналогових компонентів.

Значущим є факт, що компанії з нижньої частини рейтингу, таких як ON Semiconductor (з часткою 0,25% в рейтингу ТОП-30), Novatek (0,26%) та Disco Corp. (0,27%), демонструють також прибутковість. Показники підтверджують наявність високих бар'єрів входу на ринок і капіталомісткість галузі, де навіть незначне збільшення ринкової частки може забезпечити відчутний приріст чистих прибутків.

Особливої уваги заслуговує присутність у ТОП-30 компаній, що спеціалізуються на нішевих технологіях, таких як Synopsys, Arm Holdings, ASM International та Coherent Corp., які зосереджуються на САПР, фотоніці, лазерних технологіях і інтелектуальній власності. Їхні фінансові результати свідчать про зростаючу роль інноваційних вузькопрофільних сегментів у забезпеченні довгострокової конкурентоспроможності галузі.

Порівняння ключових ТОП-6 гравців ринку та визначено компанії, що системно утримують лідерські позиції у глобальній напівпровідниковій екосистемі наведено в табл. 2.3..

Таблиця 2.3

**ТОП-6 світових компаній напівпровідникової промисловості в 2024- 1
кв. 2025 року**

№	Компанія	Місце за чистим прибутком	Місце за доходами	Місце за ринковою капіталізацією	Середнє *	Характеристика
1	NVIDIA	1	2	1	1,33	Лідер у сегменті AI-чипів, найвища рентабельність
2	TSMC	2	3	3	2,67	Найбільший контрактний виробник чипів
3	Samsung	3	1	5	3,00	Глобальний гігант з вертикально інтегрованим виробництвом напівпровідників
4	Broadcom	5	4	2	3,67	Провідна компанія у сфері мережесхемних рішень
5	ASML	7	8	4	6,33	Єдиний виробник EUV-літографії, стратегічний постачальник
6	QUALCOMM	6	7	8	7,00	Лідер у розробці чипів для мобільного зв'язку і бездротових технологій

* - Середнє - обраховано як середнє арифметичне значення трьох позицій у рейтингах. Чим нижчий показник, тим вищий інтегральний рівень лідерства [149].

Samsung Electronics є багатoproфiльною корпорацією, в якій виробництво напівпровідникової продукції становить лише одну з декількох ключових складових її бізнес-моделі, адже окрім випуску мікросхем пам'яті та процесорів, компанія реалізує діяльність у низці інших високотехнологічних секторів: споживчої електроніки (смартфони Galaxy та телевізори), побутової техніки (холодильники, пральні машини), дисплейних технологій (OLED/AMOLED панелі), телекомунікаційного обладнання (включаючи рішення для 5G-зв'язку), у сфері програмного забезпечення та цифрових сервісів. На відміну від Samsung, решта компаній, що представлені в рейтингу, мають вузьку галузеву спеціалізацію та функціонують виключно

в межах напівпровідникового сектора, тому саме вони були обрані для більш детального аналізу. Так, компанії NVIDIA, QUALCOMM та AMD зосереджені на проєктуванні мікросхем за моделлю fabless; TSMC і ASML спеціалізуються відповідно на контрактному виробництві мікросхем і постачанні передового технологічного обладнання для фотолітографії; натомість Broadcom та Micron орієнтовані на розробку та виробництво мікросхем пам'яті, телекомунікаційних компонентів та інших високоспеціалізованих рішень для напівпровідникової галузі. Розгорнута динаміка доходів, витрат на дослідження та розробки і чистого прибутку галузі за 2015-2024 рр. представлена у додатку М.

В останні роки глобальні лідери продовжують нарощувати обсяги виробництва, доходів та інвестицій, що створює значний бар'єр входу на ринок нових гравців. NVIDIA демонструє найдинамічніше зростання доходів серед досліджуваних компаній - з 5,01 млрд. дол. США у 2015 р. до 130,5 млрд. дол. США у 2024 р., що відповідає темпу приросту 2504,7%. Основним драйвером такого зростання стало підвищення попиту на графічні процесори у зв'язку з розвитком ІІІ, центрів обробки даних та ігрової індустрії. TSMC стабільно нарощувала обсяг доходу - з 26,6 млрд. дол. США у 2015 р. до 88,3 млрд. дол. США у 2024 р. (+232,2%), що свідчить про послідовне зростання попиту на контрактне виробництво мікросхем. Компанія Broadcom збільшила дохід із 6,8 млрд. дол. США в 2015 р. до 51,6 млрд. дол. США в 2024 році (+655,8%), значною мірою завдяки стратегії активних злиттів і поглинань, включаючи інтеграцію підприємств у сфері програмного забезпечення та телекомунікацій. ASML отримала зростання доходу з 7,0 млрд. дол. США в 2015 р. до 30,6 млрд. дол. США в 2024 р. (+338,1%), що свідчить про стрімкий попит на їхні передові EUV-літографічні машини, які стали критичними для виробництва найменших техпроцесів. Дохід Qualcomm мав помірний темп приросту з 25,3 млрд. дол. США у 2015 році до 38,9 млрд. дол. США у 2024 році (+54,1%).

Найбільше зростання валового прибутку зафіксовано у NVIDIA - з 2,8 млрд. дол. США в 2015 р. до 97,9 млрд. дол. США в 2024 р. (+3381,3%), що

вказує на масштабне зростання доходів, успішну стратегію цінової політики та високу рентабельність. TSMC, Broadcom і ASML також демонструють вагоме зростання валового прибутку:

- компанія TSMC - на 283,2% (12,9 млрд. дол. США в 2015 році до 49,5 млрд. дол. США в 2024 році);
- Broadcom - темп проросту на 814,9% (3,6 млрд. дол. США в 2015 році до 32,5 млрд. дол. США в 2024 році);
- ASML - темп проросту на 387,7% (3,2 млрд. дол. США в 2015 році до 15,7 млрд. дол. США в 2024 році).

QUALCOMM відзначається найменшим приростом валового прибутку за останні 10 років - лише 46,9% (14,9 млрд. дол. США в 2015 році до 21,9 млрд. дол. США в 2024 році), що відповідає і значенню найменшого зростання доходів серед досліджуваних компаній.

R&D-інвестиції зросли у всіх компаній, але найбільше - в NVIDIA із обсягу в 1,331 млрд. дол. США в 2015 році до 12,914 млрд. дол. США в 2024 році (темپ приросту - 870,3%), що відображає інноваційну діяльність компанії в галузі ІІІ та графічних процесорів. Broadcom і ASML продемонстрували також суттєве зростання - +787,5% і +292,7% відповідно. TSMC збільшила витрати на ДіР на 201,6%, підтверджуючи свою довгострокову орієнтацію на передові технології виробництва. QUALCOMM показала найменше зростання витрат на інновації - лише +62% (з 5,5 млрд. дол. США в 2015 році до 8,9 млрд. дол. США в 2024 році).

За показником чистого прибутку NVIDIA також посідає лідируючу позицію - з 614 млн. дол. США до 72,9 млрд. дол. США (+11769,7%), що є найвищим показником у галузі. ASML продемонструвала значне зростання - +431,9% (із 1,5 млрд. дол. США в 2015 році до 8,2 млрд. дол. США в 2024 році), тоді як Broadcom і TSMC збільшили чистий прибуток на 332,2% і 265,8% відповідно. Компанія Qualcomm за показником чистого прибутку зросла лише на 77,8% (із 5,7 млрд. дол. США в 2015 році до 10,1 млрд. дол. США в 2024

році), отримавши найменше значення обсягу чистого прибутку та темпів його зростання серед досліджуваних компаній.

Напівпровідникова промисловість розвивається безпрецедентними темпами, а злиття та поглинання залишаються найважливішим інструментом для компаній, що дозволяє їм орієнтуватися у нових викликах та отримувати вигоду з можливостей. Останні тенденції у придбанні напівпровідникових компаній демонструють стратегічні зрушення, спрямовані на задоволення найнагальніших потреб галузі - від стійкості ланцюжка поставок до досягнень у галузі ШІ та 5G. За минулі роки злиття та поглинання змінили конкурентне середовище напівпровідникової промисловості. Ці ключові угоди дозволили компаніям розширити свої технологічні можливості, вийти на нові ринки та зміцнити лідерство у все більш вимогливому та складному середовищі. Повний реєстр угод злиття та поглинання у напівпровідниковій промисловості за 2016-2024 рр. представлений у додатку Н.

Придбання Fairchild Semiconductor у 2016 р. стало знаковою угодою для ON Semiconductor, яка була оцінена у 2,4 млрд. дол. США. Це придбання зміцнило портфель ON Semiconductor у галузі управління живленням, аналогових рішень та дискретних компонентів, що зміцнило її позиції на автомобільному та промисловому ринках. Інтегрувавши технологію Fairchild, ON Semiconductor задовольнила критичний попит на енергоефективні рішення для електромобілів та інтелектуального виробництва.

Придбання Cypress Semiconductor компанією Infineon Technologies за 10 млрд. дол. США у 2020 р. змінило її можливості в галузі рішень для підключення та мікросхем пам'яті. Придбання Cypress дало Infineon конкурентну перевагу в галузі технологій Інтернету речей та автомобільної промисловості, що дозволило їй постачати передові системи, що вбудовуються і датчики.

Renesas Electronics завершила придбання Dialog Semiconductor за 6 млрд. дол. США у 2021 році, щоб розширити свій портфель у галузі управління живленням та підключення до Інтернету речей. Досвід Dialog у галузі

малопотужних технологій доповнив сильні сторони Renesas у галузі автомобільних та промислових напівпровідників, що створило надійну платформу для інновацій в інтелектуальних пристроях наступного покоління.

У 2022 році AMD завершила операцію з придбання Xilinx за 49 млрд. дол. США, що стало найбільшим придбанням напівпровідникової галузі на сьогоднішній день. Ця угода позиціонувала AMD як центр адаптивних обчислень, використовуючи досвід Xilinx в області ПКВМ (програмованих користувачем вентиляльних матриць) та адаптивних SoC (систем на кристалі). Інтегрувавши технології Xilinx, AMD розширила свою присутність у центрах обробки даних, автомобільної промисловості та телекомунікаційних ринках та зміцнила свої позиції у галузі високопродуктивних та гнучких обчислювальних рішень.

Хоча спроба Qualcomm придбати NXP Semiconductors за 44 млрд. дол. США у 2018 році зрештою не була укладена через нормативні перешкоди, проте вона залишається однією з найзначніших угод в історії галузі. Запропоноване придбання NXP було спрямоване на зміцнення автомобільних та IoT-пропозицій Qualcomm, але його невдача окреслила проблеми навігації у глобальному нормативному середовищі та наголосила на стратегічній важливості злиття та поглинання для доступу до нових ринків.

Стратегія поглинань Lattice Semiconductor була зосереджена на невеликих цільових угодах для розширення її можливостей у галузі малопотужної технології FPGA. Завдяки цим придбанням Lattice Semiconductor стала ключовим гравцем у галузі периферійних обчислень та додатків ШІ. Ці кроки дозволили Lattice зайняти нішу в телекомунікаційній та промисловій автоматизації.

Придбання компанією Intel компанії Tower Semiconductor за 5,4 млрд. дол. США у 2022 році наголошує на зростаючій важливості виробничих потужностей у напівпровідниковій промисловості. Ця угода дозволила компанії Intel розширити свої послуги з ливарного виробництва, вирішити проблему глобального дефіциту мікросхем та зміцнити свої позиції

у галузі передових технологій виробництва. Купуючи Tower, компанія Intel отримала можливість обслуговувати як внутрішніх, так і зовнішніх клієнтів на ринку, що швидко розвивається.

Придбання компанією Renesas Electronics компанії Steradian Semiconductors у 2022 році демонструє зростаючу увагу до рішень для автомобільних сенсорів. Ця угода розширила можливості радарів Renesas та підтримує інновації в області автономних транспортних засобів та передових систем допомоги водію (ADAS). Аналогічно, придбання компанією AEM підприємства Central Semiconductor було зумовлене взаємодоповнюваністю компетенцій: досвід Central у сфері систем кондиціонування живлення гармонійно поєднується з технологічним портфелем AEM у галузі захисту електронних ланцюгів.

Поєднання інтересів приватного капіталу (PE) та корпоративних інвесторів у секторі свідчить про високу впевненість учасників ринку в довгострокових перспективах ІІІ. У 2024 році кількість угод за участі корпоративних інвесторів перевищила частку PE на 7%, однак за загальною вартістю угод приватний капітал випередив корпоративний сектор на 14%. Це свідчить про те, що, хоча корпорації переважають за кількістю придбань, угоди, укладені фондами PE, мають вищу середню вартість. Очікується, що у 2025 році тенденція зростання інвестицій приватного капіталу в галузі напівпровідників збережеться в напрямках, пов'язаних із технологіями ІІІ.

Узагальнення розглянутих угод свідчить, що злиття і поглинання виконують у напівпровідниковій галузі подвійну функцію. Вони залишаються головним механізмом концентрації капіталу і технологічних ресурсів у секторі та водночас слугують інструментом подолання структурних дисбалансів у глобальних ланцюгах постачання, сприяючи їх оптимізації і формуванню більш стійкої конфігурації світового ринку напівпровідників.

Таким чином, угоди злиття та поглинання напівпровідникових компаній відображають стратегічну реакцію ключових учасників ринку на сучасні виклики та можливості, що постають перед галуззю. Угоди злиття та

поглинання спрямовані як на посилення обчислювальних потужностей, так і на усунення структурних дисбалансів у глобальних ланцюгах постачання. Кожне злиття та поглинання виступає важливим інструментом трансформації галузі, формуючи її майбутній технологічний і економічний ландшафт. У міру прискорення активності у сфері злиття та поглинання ускладнюється і дотримання нормативних вимог. Такі угоди, як невдале придбання Qualcomm компанії NXP Semiconductor, наголошують на геополітичних та антимонопольних проблемах, з якими можуть зіткнутися компанії. Контроль з боку регулюючих органів є особливо суворим до операцій, пов'язаних з критично важливими технологіями та транскордонними транзакціями, оскільки уряди прагнуть підвищити національну безпеку та захистити технологічний суверенітет.

2.2. Конкурентна диспозиція суб'єктів глобального ринку в системі балансування попиту і пропозиції напівпровідникової продукції

Розвиток напівпровідникової промисловості зазнав значних трансформацій після впровадження перших комерційно доступних інтегральних схем компанією Fairchild Semiconductor Corporation. Із розширенням масштабів виробництва, загостренням конкуренції та поширенням офшорингу, галузь набуває дедалі більшого глобального значення [168; 169].

Еволюція організаційної структури галузі демонструє перехід від моделі IDM (інтегрованого виробництва пристроїв), яка охоплювала повний ланцюг створення вартості, до моделі вертикального поділу праці за принципом «проектування - виробництво - тестування». Така трансформація сприяла активному залученню економік, що розвиваються, до глобальних ланцюгів створення вартості напівпровідникової продукції. У результаті географічна

структура галузі значно змістилася - від домінування Сполучених Штатів до зростаючої ролі країн Східної та Південно-Східної Азії.

Будучи стратегічно важливою галуззю, що забезпечує військову та економічну безпеку країни або регіону, напівпровідникова промисловість не відповідає неокласичній моделі вільного ринку, а значною мірою залежить від державної підтримки. Провідні світові держави активно застосовують інструменти промислової політики для стимулювання розвитку національних напівпровідникових секторів. Формування глобальної мережі виробництва в цій галузі, засноване на принципах поділу ланцюга створення вартості, є наслідком взаємодії національної промислової політики, міжфірмової кооперації та динаміки світового ринку [170; 171].

Галузь характеризується високими бар'єрами для входу, що зумовлює необхідність довготривалого нагромадження фінансового, інтелектуального, людського та виробничого капіталу. Розвинуті економіки, такі як США, мають переваги першопрохідця, які дозволяють їм закріплювати лідерські позиції. Завдяки перевагам застосовуються різноманітні механізми, такі як патенти, правові обмеження, стратегічні альянси та державна політика, які створюють бар'єри для входу для економік, що розвиваються, та закріплюють їхню участь на початкових етапах створення доданої вартості. Таким чином, розподіл вартості між окремими суб'єктами і регіонами у глобальній економіці залишається вкрай нерівномірним [172; 173].

За умов глобалізованого виробництва, дедалі більше країн інтегруються в міжнародну торгівлю напівпровідниковою продукцією, включаючи сировинні матеріали, виробниче обладнання та готові вироби різної складності. У зв'язку з цим аналіз структури торгівлі у світовій напівпровідниковій індустрії, визначення позицій національних економік у рамках глобальної торговельної системи, є важливим інструментом для осмислення макрорівневої архітекτονіки галузі.

Упродовж 2015-2025 рр. світовий ринок напівпровідникової продукції характеризувався як періодами динамічного зростання, так і тенденціями до скорочення обсягів (рис. 2.3).

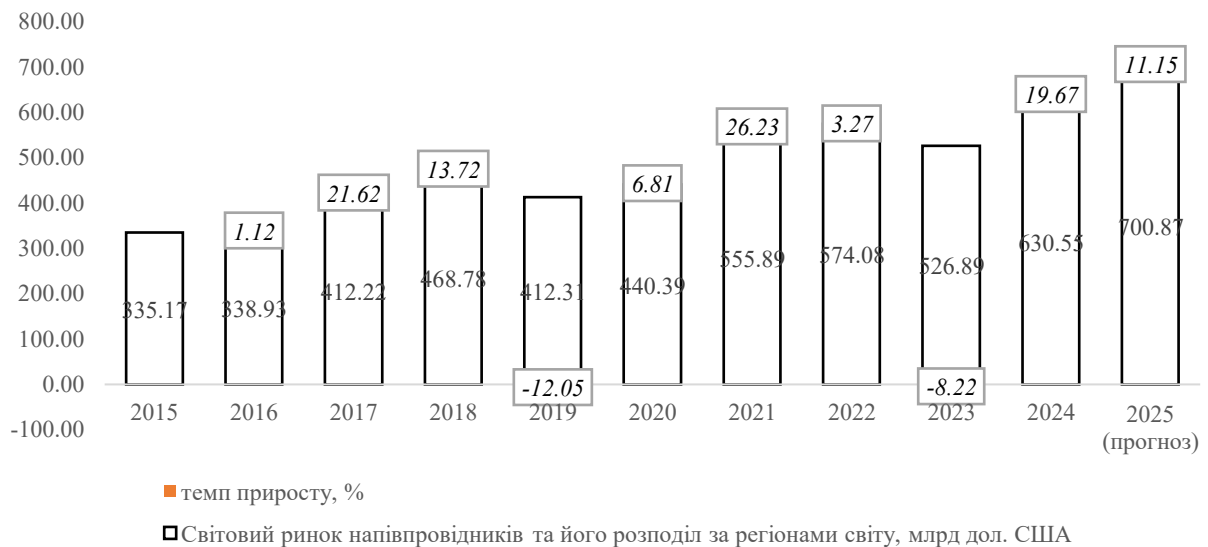


Рис. 2.3. Динаміка світового ринку напівпровідників в 2015-2025 рр., млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [175; 176]

У 2015 р. обсяг ринку становив 335,17 млрд. дол. США, а в 2016 р. спостерігалось незначне зростання на 1,12% до обсягу в 338,93 млрд. дол. США внаслідок стабільності світового попиту на напівпровідники. В подальшому ринок демонстрував інтенсивне зростання: у 2017 р. обсяг ринку збільшився на 21,62% і становив 412,22 млрд. дол. США, а у 2018 р. - зростання на 13,72% до обсягу в 468,78 млрд. дол. США. У 2019 р. відбулося зниження обсягів ринку на 12,05% у порівнянні із 2018 роком до обсягу в 412,31 млрд. дол. США. У 2020 р. спостерігалось поступове відновлення, за якого обсяг ринку напівпровідникової продукції зріс на 6,81% до 440,39 млрд. дол. США. У подальшому темпи зростання ринку мали тенденцію до зростання: у 2021 р. ринок збільшився на 26,23%, досягши 555,89 млрд. дол. США, а в 2022 р. зафіксовано уповільнення динаміки до 3,27% у порівнянні з попереднім періодом, при цьому обсяг ринку становив 574,08 млрд. дол. США. У 2023 р. обсяг ринку скоротився на 8,22% до 526,89 млрд. дол. США

внаслідок зменшенням світового попиту, геополітичних ризиків та циклічними коливаннями у галузі. Вже у 2024 р. ринок мав динаміку до зростання, збільшившись на 19,67% у порівнянні з попереднім роком до 630,55 млрд. дол. США. За прогнозними оцінками, у 2025 р. очікується подальше зростання ринку на 11,15%, що дозволить досягти обсягу ринку в 700,87 млрд. дол. США.

Виявлений стан концентрації капіталу, географічної переорієнтації галузі та формування монопольних позицій у критичних сегментах ланцюга створення вартості зумовлює необхідність переходу від описового аналізу ринку до його кількісного оцінювання через інструментарій ризик-моделювання. У межах цього підходу основним науковим завданням є визначення масштабу потенційних економічних втрат глобальної напівпровідникової галузі за умов реалізації різних типів зовнішніх шоків - пандемічних, геополітичних, природно-катастрофічних і технологічних - та обґрунтування кількісного зв'язку між рівнем міжнародної виробничої кооперації та системною стійкістю галузі. Сформульовано робочу гіпотезу дослідження: посилення кооперативних форм взаємодії суб'єктів світового ринку напівпровідників має вимірюваний ефект скорочення системних ризиків, тоді як, в свою чергу, рух у напрямі геополітичного розриву супроводжується нелінійним зростанням потенційних втрат. Для перевірки зазначеної гіпотези застосовано модель, що поєднує методологію Value-at-Risk, симуляційне моделювання Монте-Карло та матрицю каскадного поширення шоків розмірності 6×6 , побудовану на основі шести ключових вузлів глобального ланцюга вартості (дослідження та розробки, автоматизоване проєктування, обладнання для виробництва, виробництво, складання і тестування, кінцевий продукт). Параметризацію семи типів ризикових подій здійснено на основі верифікованих статистичних даних AlixPartners, USGS, Bloomberg Economics, Rhodium Group та Institute for Economics and Peace.

Глобальний ланцюг вартості напівпровідників відзначається винятковою концентрацією виробничих і технологічних потужностей у невеликій кількості ключових сегментів. Переважна частка передових мікросхем (92%) виготовляється компанією TSMC, постачання обладнання для EUV-літографії повністю зосереджене в одного виробника - ASML, а понад 70% глобального ринку систем автоматизованого проєктування забезпечують Synopsys і Cadence. Подібна конфігурація зумовлює системну крихкість: порушення роботи окремого сегмента спричиняє ланцюгове наростання негативних ефектів у суміжних ланках виробництва. Кількісне вимірювання зазначених ризиків виконано із застосуванням методології Value-at-Risk, запозиченої з практики фінансового ризик-менеджменту та адаптованої для аналізу виробничих ланцюгів вартості. Розрахункова процедура реалізована шляхом імітаційного моделювання Монте-Карло (500 000 ітерацій) у поєднанні з каскадним відтворенням міжсегментних залежностей на основі матриці поширення впливів. Формалізацію моделі та деталізовані обчислення наведено в додатку Ж. Побудована модель проводить кількісну оцінку вразливості глобального ланцюга вартості напівпровідників через поєднання імовірнісного опису шоків, каскадного поширення впливів та метрик ризику.

Результати свідчать, що навіть за помірного перебігу подій можливі масштабні економічні втрати, тоді як загострення геополітичної напруженості здатне спричинити системний зрив майже всього ринку. Посилення міжнародної виробничої взаємодії суттєво зменшує потенційні збитки, внаслідок чого економічно доцільним стає кооперація. Найвразливішими залишаються сегменти виробництва та постачання обладнання через високу концентрацію потужностей і сильні міжвузлові залежності, домінування TSMC у передовому виробництві та монопольне становище ASML у сфері EUV-обладнання. Сукупний ризик формують події з високою частотою виникнення, а рідкісні екстремальні кризи визначають масштаби найгірших сценаріїв. Сценарій геополітичного розриву є катастрофічним: $VaR(99\%) =$

717,6 млрд дол. (90,6% ринку), що підтверджує, що ізоляція технологічних блоків призводить до майже повного колапсу ланцюга вартості. Міжнародна кооперація має вимірюваний ефект: перехід від базового до інноваційно-інтеграційного сценарію знижує VaR(95%) на 189,7 млрд. дол. США (з 388,5 до 198,8 млрд. дол. США).

Результати імітаційного моделювання формують методологічне підґрунтя для прийняття стратегічних рішень на двох рівнях управління. На державному рівні кількісне підтвердження ефекту міжнародної кооперації, що виражається у скороченні VaR(95%) на 48,8% (з 388,5 до 198,8 млрд. дол. США) при переході до інноваційно-інтеграційного сценарію, обґрунтовує доцільність формування політики технологічного суверенітету через поглиблення партнерських зв'язків, а не через ізоляційні підходи. На корпоративному рівні ідентифіковані критичні точки системної вразливості - вузли «Виробництво» (TSMC) та «Обладнання» (ASML) з коефіцієнтами каскадного поширення $p_{34} = 0,80$ і $p_{46} = 0,70$ - визначають пріоритетні напрями диверсифікації постачальницьких ланцюгів, географічного розосередження виробничих потужностей та інвестування у резервні джерела постачання. Отримані кількісні оцінки трьох альтернативних сценаріїв (інноваційно-інтеграційного, адаптивної фрагментації та геополітичного розриву) використано у подальшому сценарному аналізі майбутньої динаміки глобального ринку напівпровідників, представлено у підрозділі 3.2 дисертації. Розроблений інструментарій характеризується властивістю масштабованості та може бути застосований до аналізу інших критичних глобальних ланцюгів створення вартості, що формує самостійний методичний внесок у сферу управління системними ризиками високотехнологічних індустрій.

Упродовж останнього десятиліття Азіатсько-Тихоокеанський регіон стабільно утримував провідні позиції у світовому виробництві напівпровідникової продукції, посідаючи перше місце як за абсолютними обсягами випуску, так і за питомою вагою у загальносвітовій структурі.

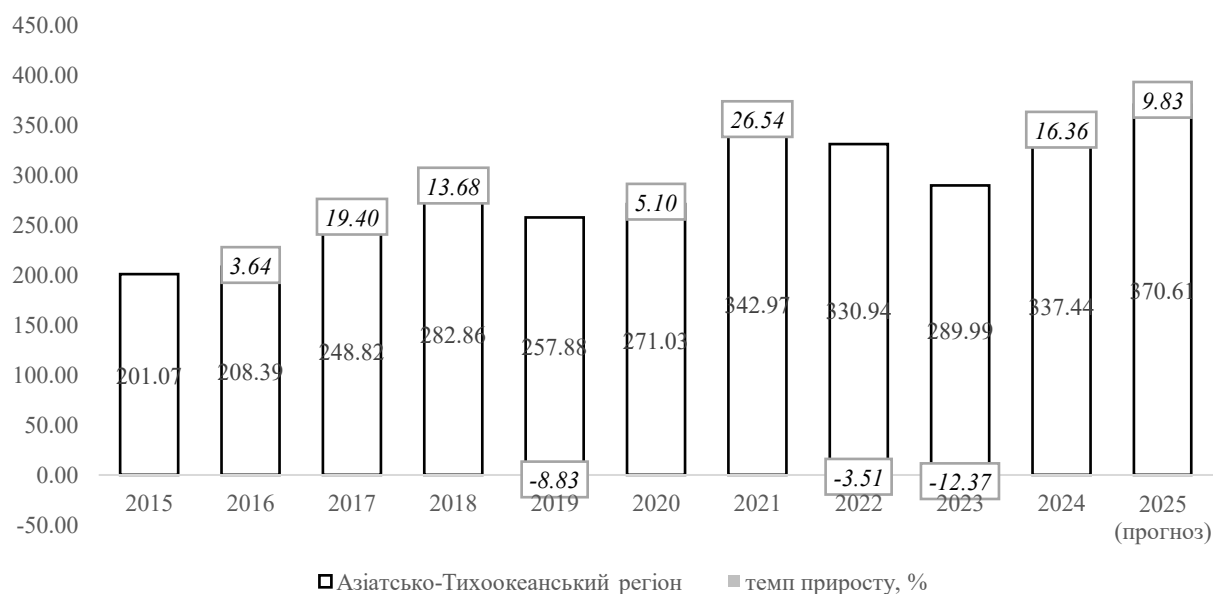


Рис. 2.4. Динаміка ринку напівпровідників в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні в 2015-2025 рр., млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [175; 176]

Обсяг ринку напівпровідників в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні у 2015 році становив 201,07 млрд. дол. США (рис. 2.4). Упродовж 2016-2018 років спостерігалася чітка тенденція до зростання із обсягу в 208,39 млрд. дол. США в 2016 році, до 248,82 млрд. дол. США в 2017 році, та подальшим зростанням у 2018 році на 282,86 млрд. дол. (темп приросту - 13,68% до попереднього року).

Однак у 2019 р. відбулося зниження на 8,83% у порівнянні з попереднім, 2018 роком, до обсягу в 257,88 млрд. дол. США, після чого у 2020-2021 роках Азіатсько-Тихоокеанський регіон продемонстрував відновлення на 5,10% в 2020 р. до обсягу в 271,03 млрд. дол. і 26,54% в 2021 р. до обсягу в 342,97 млрд. дол. США. У 2022 р. зафіксовано скорочення обсягів в регіоні на 3,51% у порівнянні з 2021 р., до показника в 330,94 млрд. дол. США, а у 2023 р. подальше зменшення на 12,37% до 289,99 млрд. дол. США. Попри це, у 2024 р. обсяг ринку напівпровідників в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні збільшився на 16,36% у порівнянні з 2023 р. до 337,44 млрд. дол. США, а у 2025 р., за прогнозом, зросте на 9,83% до обсягу в 370,61 млрд. дол. США.

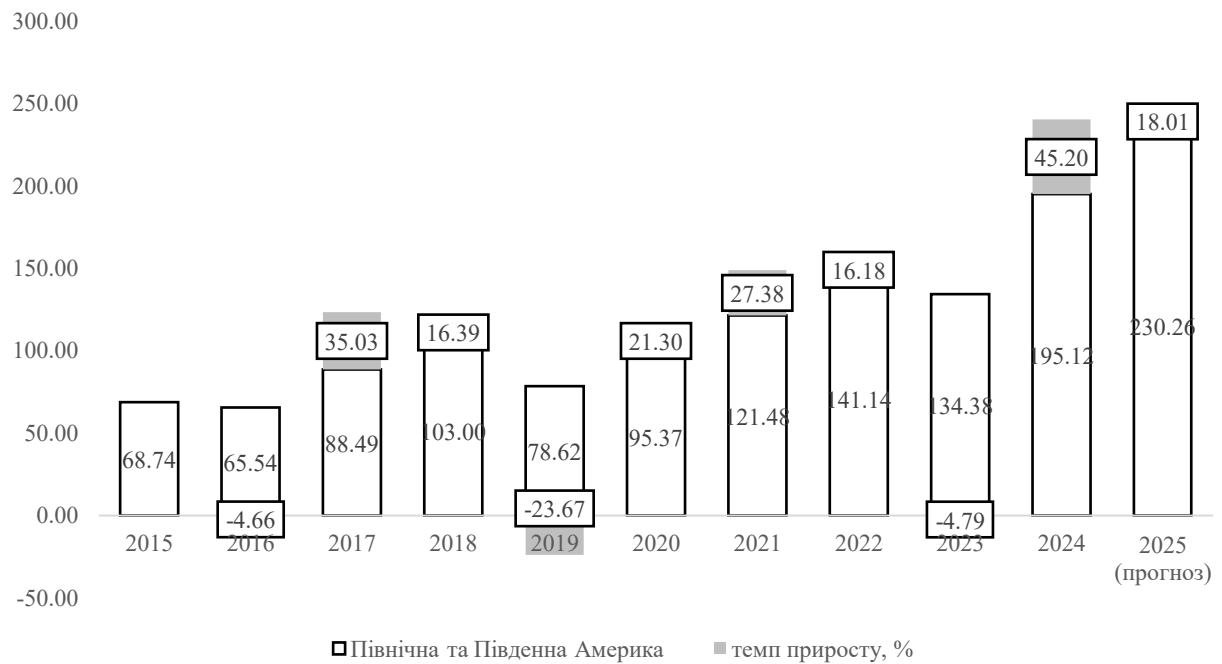


Рис. 2.5. Динаміка ринку напівпровідників в Південній та Північній Америці в 2015-2025 рр., млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [175; 176]

У 2015 р. обсяг ринку напівпровідників у регіоні Північної та Південної Америки становив 68,74 млрд. дол. США. У 2016 р. зафіксовано незначне зниження на 4,66% до обсягу в 65,54 млрд. дол. США, однак у 2017-2018 роках спостерігалось суттєве зростання - на 35,03% і 16,39% відповідно, що дозволило досягти ринку напівпровідників в Південній та Північній Америці 88,49 млрд. дол. США в 2017 р. та 103,00 млрд. дол. США в 2018 р.. Проте у 2019 р. обсяги скоротилися на 23,67% до обсягу в 78,62 млрд. дол. США (рис. 2.5).

У наступні роки ринок напівпровідників мав динаміку до зростання: у 2020 р. - на 21,30% до обсягу в 95,37 млрд. дол. США, а у 2021 р. - на 27,38% до 121,48 млрд. дол. США. У 2022 р. динаміка до зростання продовжилася досягнувши обсягу в 141,14 млрд. дол. США (зростання 16,18% до попереднього року). Проте в 2023 р. спостерігалось незначне зниження обсягів на 4,79% у порівнянні із 2022 роком до обсягу в 134,38 млрд. дол. США. В 2024 р. відбулося різке зростання на 45,20% до обсягу в 195,12 млрд. дол.

США, і за прогнозом на 2025 рік обсяг ринку зросте на 18,01% до 230,26 млрд. дол. США внаслідок зростання інвестицій у галузь.

Напівпровідникова промисловість належить до найбільш глобалізованих і стратегічно важливих галузей світової економіки. Її глобальна система створення доданої вартості характеризується значною територіальною нерівномірністю. Основна частина інтелектуальної власності, пов'язаної з проєктуванням та розробкою напівпровідників, зосереджена у Сполучених Штатах Америки, Південній Кореї, Тайвані та окремих європейських країнах. У той час як основні виробничі потужності, процеси збирання та тестування сконцентровані переважно в країнах Азії, насамперед у Китаї, який є найбільшим споживчим ринком напівпровідникової продукції у світі.

Відповідна диспропорція відображається в географії ланцюгів постачання, що обслуговують глобальну архітектуру створення вартості в індустрії: високотехнологічні компоненти та програмне забезпечення постачаються здебільшого з розвинених країн, тоді як операції з низькою доданою вартістю часто передаються на аутсорсинг до Китаю або інших країн з нижчими витратами. Незважаючи на активне розширення виробничих потужностей у Китаї, ключові елементи вартості залишаються під контролем компаній, що мають штаб-квартири за межами цієї країни.

Складна та асиметрична структура світової напівпровідникової екосистеми формує взаємозалежні відносини між Китаєм як критичним центром виробництва та США, які зберігають контроль над ключовими технологіями, програмними платформами та інтелектуальною власністю. Така конфігурація дозволила ефективно використовувати порівняльні переваги географічного поділу праці, сприяючи формуванню розгалуженої мережі постачальників. Однак із посиленням геополітичної напруги в контексті загострення конкуренції між США та Китаєм, виникає істотна невизначеність щодо подальшого функціонування та розвитку глобальних ланцюгів створення вартості на світовому ринку напівпровідників.

Вихід на світовий ринок напівпровідників нових впливових гравців з Азіатсько-Тихоокеанського регіону, передусім компаній Тайваню, Республіки Корея, Китаю та Японії, суттєво змінює усталену центр-периферійну модель ринку, яка за сукупністю об'єктивних показників поступово набуває виразних поліцентричних ознак. Підґрунтям цієї трансформації, що поступово переформатовує всю галузеву ієрархію, є просторове переміщення виробничих потужностей до країн АТР та їх диверсифікація, поступове нарощування азійськими економіками науково-технологічних переваг, цілеспрямована розбудова національних інноваційно-індустріальних екосистем, помітне посилення державної промислової політики, а також послідовне втілення стратегій технологічного суверенітету, які в сукупності й закладають основу нової конфігурації світового ринку.

У такому контексті посилюються зусилля Китаю, спрямовані на досягнення технологічного суверенітету та зниження залежності від зовнішніх постачальників. Ці прагнення обумовлені потребою зміцнення власної позиції найбільшого ринку збуту, повноцінного центру розробки, виробництва та інновацій у сфері напівпровідників. Аналіз такої трансформації потребує чіткого розмежування між статусом Китаю як споживача напівпровідникових технологій і його прагненням до створення повного замкненого циклу національного виробництва.

У контексті сучасної цифрової трансформації напівпровідникові компоненти перестали бути виключно технологічним продуктом і дедалі частіше розглядаються як стратегічні ресурси, що визначають рівень економічної могутності та технічно-наукового суверенітету країн. Такі країни, як Японія, Південна Корея та Китай, усвідомлюючи вирішальне значення цієї галузі, активно реалізують державні інвестиційні стратегії з метою посилення власних позицій у глобальній напівпровідниковій індустрії. Контроль над виробництвом напівпровідників забезпечує державам стратегічні важелі впливу в міжнародній економіко-політичній системі.

У науковій та експертній літературі напівпровідники все частіше називають «новою нафтою», що підкреслює їхню критичну роль для стабільного функціонування глобальної економіки. Відтак провідні держави світу вживають заходів щодо зміцнення коопераційних зв'язків у межах міжнародної напівпровідникової екосистеми. Прикладом цього є створення альянсу «Chip 4», ініційованого Сполученими Штатами Америки за участі Південної Кореї, Японії та Тайваню, метою якого є узгодження національних технологічних стратегій і координація ланцюгів постачання з урахуванням геополітичних ризиків [199].

На сьогодні понад 75% глобальних виробничих потужностей у галузі мікросхем зосереджено в Азії. З 2014 року Китай здійснює цілеспрямовану політику державної підтримки розвитку власного напівпровідникового сектору, спрямовану на імпорту технологій, залучення іноземних інвестицій, формування внутрішнього ринку високотехнологічних рішень. Китайські компанії поступово інтегруються у всі етапи ланцюга створення вартості - від виробництва сировинних хімічних матеріалів до кінцевого виготовлення мікросхем. Незважаючи на розширення інфраструктури та наявність національних виробників, технологічний рівень Китаю у багатьох сегментах усе ще поступається провідним міжнародним конкурентам. Для подолання наявного технологічного розриву Китай продовжує активізувати інвестиції у наукові дослідження, модернізацію виробничих потужностей та розвиток людського капіталу через підтримку інженерної освіти та програм залучення кваліфікованих фахівців до високотехнологічного сектору. Така стратегія має на меті забезпечення довгострокової автономії країни в одному з найважливіших секторів світової економіки.

Амбіційна ціль Китаю виробляти 70% напівпровідників всередині країни до 2025 року є одним із ключових факторів «війни за чіпи». Незважаючи на те, що прогрес йде повільніше, ніж очікується, через санкції США та технологічних обмежень, Китай продовжує інвестувати мільярди доларів у свій напівпровідниковий сектор [200].

Зростаюча напруга у сфері міжнародної безпеки, потенційна загроза конфлікту між Китаєм і Тайванем, змушує держави переосмислювати підходи до гарантування стійкості власних ланцюгів постачання та зміцнення національної технологічної безпеки. Опанування повного циклу виробництва мікроелектронних компонентів перетворюється на важливий інструмент міжнародної дипломатії та засіб посилення зовнішньополітичного впливу. У цьому контексті стратегічні побоювання щодо потенційної вразливості у сфері технологічного суверенітету зумовили переосмислення політики провідних держав, насамперед США, стосовно їхньої участі в глобальних ланцюгах створення вартості. Відповідно, геополітична конфронтація між США та Китаєм значною мірою зумовлена технологічним суперництвом, яке супроводжується занепокоєнням США щодо потенційного зміцнення Китаю як нового технологічного лідера. Після тривалого періоду ліберальної інвестиційної політики, що сприяла інтеграції Китаю в глобальні ланцюги створення вартості, Сполучені Штати Америки переглянули підхід, усвідомивши здатність китайських корпорацій (наприклад, Huawei) до розробки технологій світового рівня. Ураховуючи ключову роль напівпровідників у промисловості та національній безпеці, обидві держави прагнуть до зміцнення контролю над критичними технологіями та нарощування стратегічної автономії. Ця зміна стратегічних підходів породжує нові ризики для сталості глобальної системи постачання, викликає занепокоєння щодо можливого поділу технологічних ланцюгів на дві паралельні системи - орієнтовані на США та Китай відповідно [201]. Такий сценарій матиме довгострокові наслідки як для функціонування світової напівпровідникової галузі, так і для реалізації амбіцій Китаю щодо формування незалежної та конкурентоспроможної національної напівпровідникової індустрії.

Динаміка японського ринку напівпровідників характеризується виваженим, помірним розвитком з тенденцією до поступового вирівнювання обсягів у середньостроковій перспективі (рис. 2.6).

У 2015 р. обсяг ринку напівпровідникової продукції Японії становив 31,10 млрд. дол. США. Упродовж 2016-2018 років спостерігалось стійке зростання обсягів реалізації: у 2016 р. обсяг ринку становив 32,29 млрд. дол. США тобто зростання на 3,83% у порівнянні з 2015 р., у 2017 р. зростання становило 36,6 млрд. дол. США - зростання 13,33% до попереднього року, а у 2018 р. - зростання на 9,20% до обсягу в 39,96 млрд. дол. США. Проте в 2019 р. відбулося суттєве зниження обсягів ринку напівпровідників в Японії на 9,93% до обсягу в 35,99 млрд. дол. США.

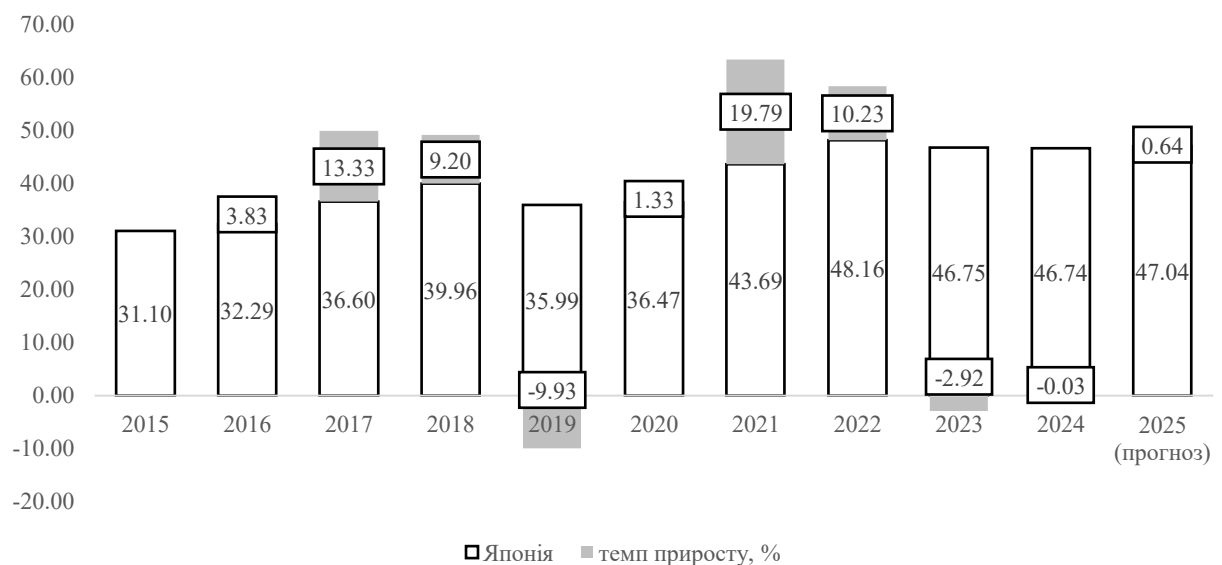


Рис. 2.6. Динаміка ринку напівпровідників в Японії в 2015-2025 рр., млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [148; 149]

У 2020 р. ринок продемонстрував незначне зростання на рівні 1,33%, що частково компенсувало попереднє зменшення збільшивши обсяги до 36,47 млрд. дол. США. Упродовж 2021-2022 рр., ринок напівпровідників Японії зберіг позитивну динаміку до зростання становивши 43,69 млрд. дол. США в 2021 р. та 48,16 млрд. дол. США в 2022 р. і збільшившись відповідно на 19,79% в 2021 р. та 10,23% в 2022 р.. Проте у 2023-2024 роках ринок напівпровідників в Японії зменшився в обсязі до рівня в 46,75 млрд. дол. США тобто на 2,92% у 2023 р. у порівнянні із 2022 р.. В 2024 р. ринок напівпровідників Японії

зменшився на -0,03% до обсягу в 46,74 млрд. дол. США. За прогнозом на 2025 рік очікується помірне зростання на рівні 0,64% до обсягу в 47,04 млрд. дол. США.

Ринок напівпровідників Японії у досліджуваний період характеризується динамікою до зменшення. У 2015 році частка країни становила 9,28%, тоді як за прогнозом до кінця 2025 року очікується її зменшення до 6,71%. Причинами втрати позицій Японії на глобальному ринку напівпровідників виступають ряд факторів. Так, Японія зберігає сильну науково-дослідну базу, проте обмежене розширення внутрішнього попиту та орієнтація на вузькі сегменти ринку (оптична електроніка, силові напівпровідники) не дозволяють конкурувати у сфері передових технологій. Посилення конкуренції з боку США та країн АТР обумовлює зменшення глобальної частки японських виробників.

У сучасних умовах Японія активно працює над реіндустріалізацією галузі, особливо після того, як пандемія COVID-19 виявила критичну залежність від зовнішніх поставок і вразливість глобальних ланцюгів поставок. Протекціоністські заходи, що запроваджувалися під час президентства Дональда Трампа, додатково стимулювали зусилля Японії щодо зміцнення національного виробництва мікросхем і формування привабливої індустріальної екосистеми для іноземних інвесторів.

У свою чергу, Південна Корея досягла значного прогресу в розвитку напівпровідникової промисловості завдяки діяльності потужних промислових конгломератів, таких як Samsung і SK Hynix. На сьогоднішній день частка напівпровідникового сектору у ВВП країни становить близько 20%, тоді як її частка на світовому ринку мікросхем пам'яті сягає приблизно 56,9%. Південна Корея поки що має обмежену присутність у виробництві логічних, аналогових і оптичних мікросхем. У зв'язку з цим країна спрямовує зусилля на розширення виробничого потенціалу в сегментах штучного інтелекту, електротранспорту та автомобільної електроніки. Стратегічною метою є

досягнення обсягів виробництва на рівні 245 млрд. дол. США та експорту - 200 млрд. дол. США до 2030 року.

Структура світового ринку напівпровідників за останні 10 років відображена в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Динаміка структури світового ринку напівпровідників та його розподіл за регіонами світу в 2015-2025 рр., %

Показники	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025 (прогноз)	Зміна за 10 років
Північна та Південна Америка	20,51	19,34	21,47	21,97	19,07	21,65	21,85	24,58	25,50	30,94	32,85	
абсо- лютний приріст, %		-1,17	2,13	0,50	-2,90	2,59	0,20	2,73	0,92	5,44	1,91	12,34
Європа	10,22	9,65	9,29	9,16	9,66	8,52	8,59	9,38	10,58	8,13	7,56	
абсо- лютний приріст, %		-0,57	-0,36	-0,13	0,49	-1,14	0,07	0,79	1,20	-2,46	-0,57	-2,66
Японія	9,28	9,53	8,88	8,52	8,73	8,28	7,86	8,39	8,87	7,41	6,71	
абсо- лютний приріст, %		0,25	-0,65	-0,35	0,21	-0,45	-0,42	0,53	0,48	-1,46	-0,70	-2,57
Азіатсько- Тихо- океанський регіон	59,99	61,49	60,36	60,34	62,55	61,54	61,70	57,65	55,04	53,51	52,88	
абсо- лютний приріст, %		1,49	-1,12	-0,02	2,20	-1,00	0,15	-4,05	-2,61	-1,52	-0,64	-7,11
Всього	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Джерело: складено автором за [148; 149]

Упродовж аналізованого періоду регіон Північної та Південної Америки демонструє стійку тенденцію до зростання питомої ваги в структурі світового ринку напівпровідникової продукції. Якщо у 2015 році питома вага регіону Північної та Південної Америки становила 20,51%, то за підсумками 2025 року прогнозується його зростання до 32,85%, що в абсолютному приросту відповідає 12,34 %, тобто найвищому серед усіх регіонів. Динаміка до зростання питомої ваги пояснюється низкою взаємопов'язаних чинників,

серед яких ключову роль відіграє процес репатріації виробничих потужностей (reshoring) до США, спричинений геополітичними викликами та прагненням забезпечити технологічний суверенітет. Важливим стимулюючим фактором також стала державна підтримка стратегічно важливого сектору напівпровідників, в рамках реалізації Закону «CHIPS and Science Act», спрямованого на стимулювання інвестицій у національні виробничі потужності та дослідження.

На відміну від регіону Північної та Південної Америки, європейський регіон характеризується тенденцією до скорочення частки в світовому ринку (рис. 2.7).

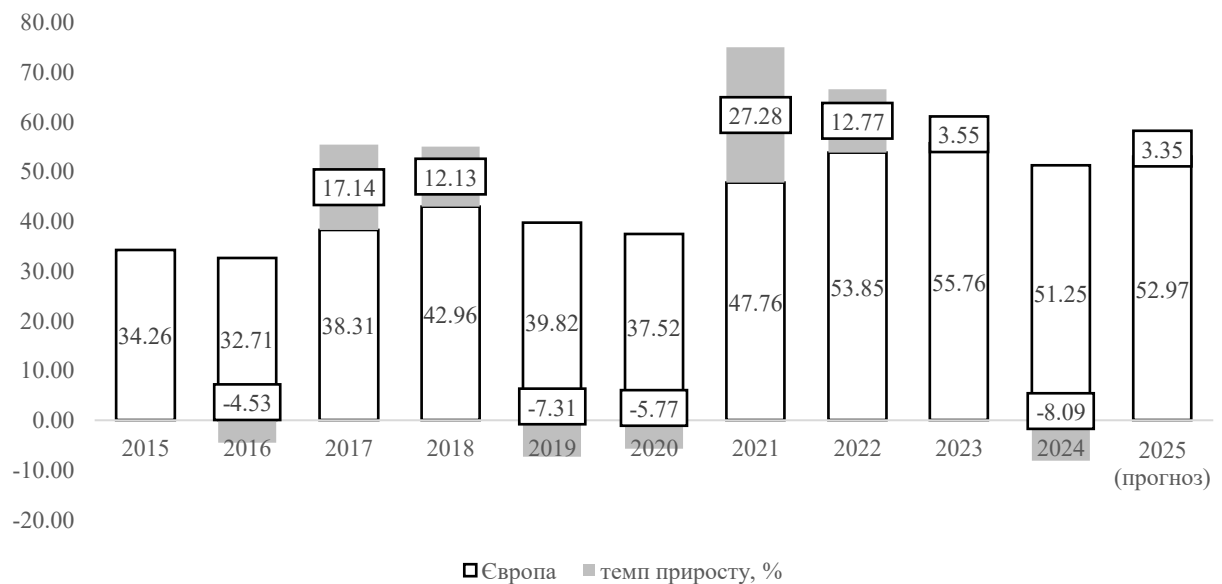


Рис. 2.7. Динаміка європейського ринку напівпровідників в 2015-2025 рр., млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [148; 149]

Частка Європи у глобальному ринку напівпровідників у 2015 році становила 10,22%, тоді як за прогнозом на 2025 рік вона знизиться до 7,56%. Причини втрати частки європейськими країнами пов'язані з обмеженим рівнем державної підтримки, недостатніми інвестиціями у дослідження і розробки, високим рівнем залежності від імпорту високотехнологічних компонентів із країн Азіатсько-Тихоокеанського регіону. Відсутність

координації на рівні Європейського Союзу у формуванні єдиної промислової політики щодо мікроелектроніки знижує ефективність реагування на глобальні виклики.

Азіатсько-Тихоокеанський регіон (АТР) традиційно виступає основним центром глобального виробництва напівпровідників, проте упродовж 2015-2025 рр. питома вага Азіатсько-Тихоокеанського регіону мала динаміку до скорочення із 59,99% в 2015 році до 53,51% в 2024 році, за прогнозом, до скорочення на -0,64% в 2025 році до питомої ваги в 52,88%. Такі зміни пов'язані з глобальною зміною місця АТР у ланцюгах постачання критично важливих компонентів. Так, у контексті загострення геополітичної ситуації в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні через зростаючу напруженість у відносинах між Китайською Народною Республікою та Тайванем, дедалі актуальнішим стає питання забезпечення стабільності ланцюгів постачання напівпровідникової продукції. Значна концентрація виробничих потужностей у межах одного суб'єкта - компанії Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), яка забезпечує критично важливу частку глобального випуску мікросхем, створює стратегічні ризики для провідних технологічних країн світу. У зв'язку з цим спостерігається тенденція до активного переосмислення індустріальної політики, що проявляється в ініціативах провідних країн Заходу щодо диверсифікації джерел постачання та перенесення виробництва напівпровідників до політично стабільніших юрисдикцій з розвиненою інфраструктурою, правовими гарантіями та інвестиційною привабливістю.

У контексті стрімкого розвитку високотехнологічних секторів особливої актуальності набуває всебічний аналіз структури та трансформації світового ринку напівпровідників за напрямками їх практичного застосування. Такий підхід дозволяє ідентифікувати ключові вектори зростання галузі, простежити зміни у структурі попиту на окремі види продукції, визначити стратегічні орієнтири для виробників, інвесторів і державних регуляторів.

Розглянемо динаміку обсягів реалізації напівпровідникової продукції у 2015-2025 роках (включаючи прогнозні показники), диференційовану за основними категоріями: дискретні напівпровідники, оптоелектроніка, сенсори, інтегральні схеми з деталізацією на аналогові пристрої, мікропроцесори, логічні елементи та мікросхем пам'яті.

Динаміка світового ринку дискретних напівпровідників в 2015-2025 рр. відображена на рис. 2.8.

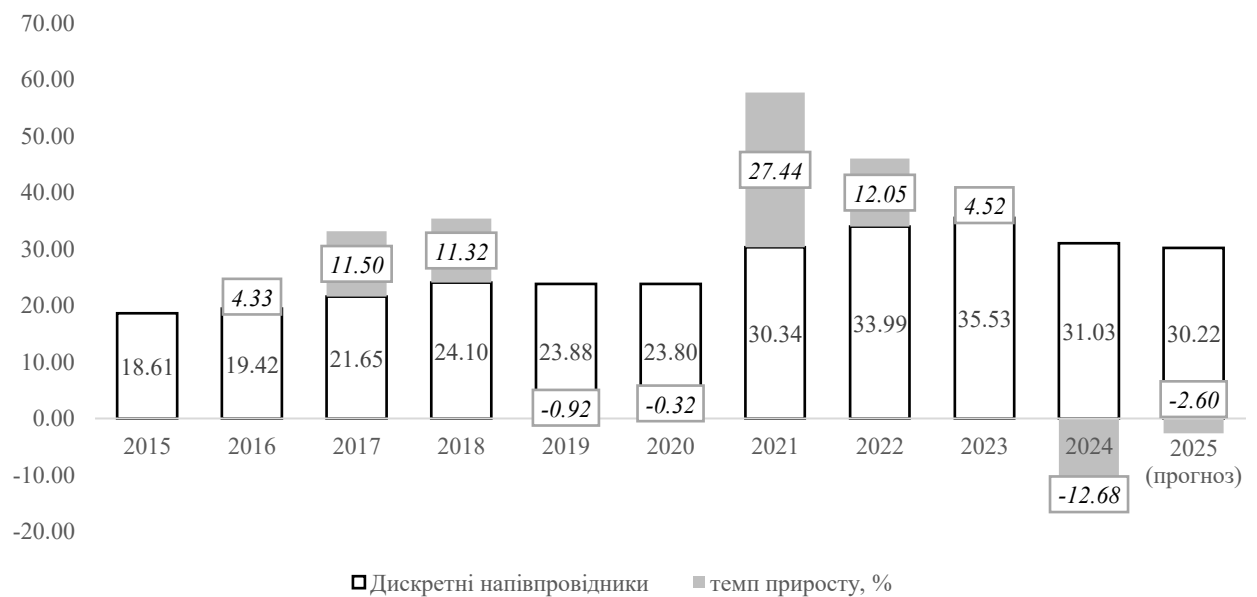


Рис. 2.8. Динаміка світового ринку дискретних напівпровідників в 2015-2025 рр., млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [148; 149]

За період 2015-2025 років світовий ринок дискретних напівпровідників мав чотири стійкі тенденції:

1. динаміку до зростання у період 2015-2018 рр. із обсягу в 18,61 млрд. дол. США в 2015 році до 24,10 млрд. дол. США в 2018 році. Період характеризувався підвищеним попитом на напівпровідникову продукцію, зумовленим активною цифровізацією економіки, зростанням сегменту автомобільної електроніки, інтенсифікацією використання засобів автоматизації;

2. динаміку до скорочення в 2019 році на рівні в -0,92% і обсягу в 23,88 млрд. дол. США та зменшення в 2020 році на 0,32% до обсягу в 23,80 млрд. дол. США. Зниження в даний період обумовлювалося глобальним уповільненням виробничих процесів, геоекономічною нестабільністю, початком пандемії COVID-19, що вплинула на ланцюги постачання;

3. тенденція до зростання в 2021-2023 рр., коли темп приросту становив 27,44% в 2021 році збільшивши показник до 30,34 млрд. дол. США, в 2022 році збільшившись 12,05% до попереднього, 2021 року, і становивши 33,99 млрд. дол. США та в 2023 році - збільшившись на 4,52% до обсягу в 35,53 млрд. дол. США. Позитивна динаміка цього періоду стала результатом зростаючого попиту на засоби обчислювальної техніки, енергозберігаючі технології та рішення для «розумного» транспорту;

4. динаміка до скорочення обсягів на -12,68% до обсягу в 31,03 млрд. дол. США в 2024 році та, за прогнозом, в 2025 році подальше зменшення на 2,6% до обсягу в 30,22 млрд. дол. США.

Динаміка світового ринку інтегральних схем в 2015-2025 рр. відображена на рис. 2.9.

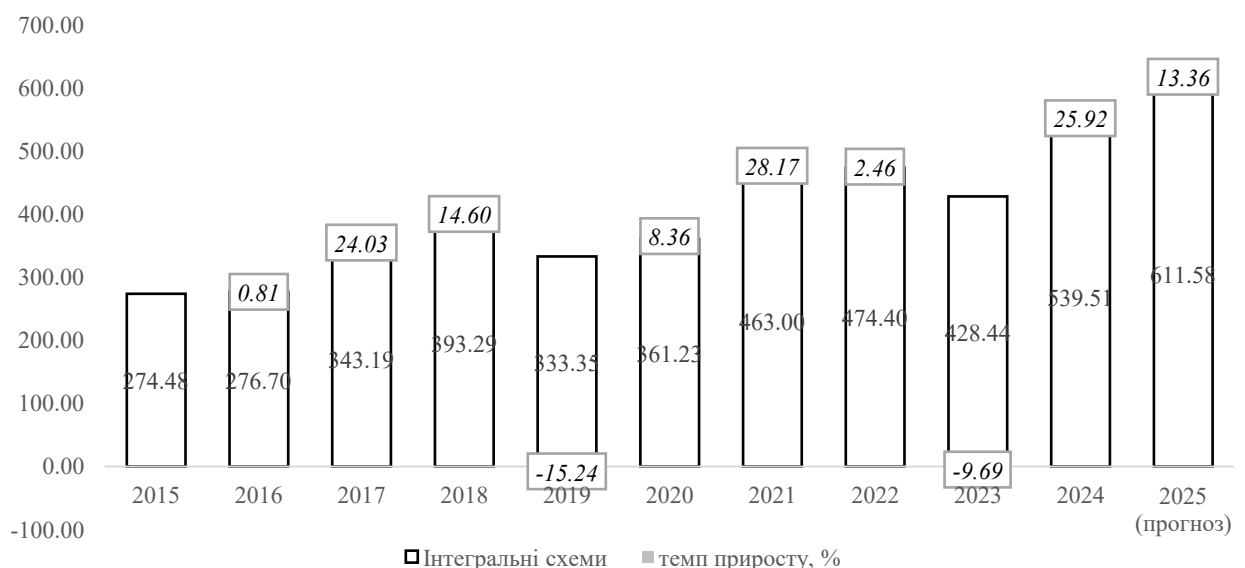


Рис. 2.9. Динаміка світового ринку інтегральних схем в 2015-2025 рр., млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [148; 149]

Обсяг світового ринку інтегральних схем за період 2015-2025 рр. мав динаміку до зростання за період 2015-2018 рр. зростаючи із 274,48 млрд. дол. США в 2015 році до 276,7 млрд. дол. США в 2016 році при темпі зростання в 0,81%. В 2017 році обсяг світового ринку інтегральних схем зріс на 24% до обсягу в 343,19 млрд. дол. США, а в 2018 році при зростанні на 14,6% обсяг ринку становив 393,35 млрд. дол. США. В 2019 році обсяг ринку інтегральних схем зменшився на 15,24% до обсягу в 333,35 млрд. дол. США.

Таблиця 2.5

**Динаміка складових світового ринку інтегральних схем в 2015-2025 рр.,
млрд. дол. США**

Показники	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025 (прогно з)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Обсяги, млрд. дол. США											
Аналогові	45,23	47,85	53,07	58,79	53,94	55,66	74,11	88,98	81,23	79,59	81,64
темп приросту, %		5,79	10,91	10,77	-8,24	3,19	33,14	20,08	-8,72	-2,02	2,58
Мікро	61,30	60,59	63,93	67,23	66,44	69,68	80,22	79,07	76,34	78,63	77,84
темп приросту, %		-1,16	5,53	5,16	-1,18	4,87	15,13	-1,43	-3,46	3,00	-1,01
Логіка	90,75	91,50	102,21	109,30	106,54	118,41	154,84	176,58	178,59	215,77	267,26
темп приросту, %		0,82	11,71	6,94	-2,53	11,14	30,77	14,04	1,14	20,82	23,86
Пам'ять	77,21	76,77	123,97	157,97	106,44	117,48	153,84	129,77	92,29	165,52	184,84
темп приросту, %		-0,57	61,49	27,42	-32,62	10,37	30,95	-15,65	-28,88	79,35	11,68
Питома вага, %											
Інтегральні схеми	81,89	81,64	83,25	83,90	80,85	82,02	83,29	82,64	81,32	85,56	87,26
Аналогові	13,49	14,12	12,87	12,54	13,08	12,64	13,33	15,50	15,42	12,62	11,65
Мікро	18,29	17,88	15,51	14,34	16,11	15,82	14,43	13,77	14,49	12,47	11,11
Логіка	27,08	27,00	24,79	23,32	25,84	26,89	27,85	30,76	33,90	34,22	38,13
Пам'ять	23,03	22,65	30,07	33,70	25,82	26,68	27,67	22,60	17,52	26,25	26,37

Джерело: складено автором за [148; 149]

Проте вже з 2020 р. почалася знову тенденція до зростання, що тривала до 2023 року. В 2020 році обсяг світового ринку інтегральних схем становив 361,23 млрд. дол. США, збільшившись у порівнянні із 2019 роком на 8,36%. В

2021 році темп приросту ринку становив 28,17% дозволивши збільшити обсяг ринку до 463,0 млрд. дол. США, а в 2022 році при зростанні на 2,46% обсяг ринку інтегральних схем зріс до 474,4 млрд. дол. США. В 2023 році спостерігалось скорочення обсягів ринку до 428,44 млрд. дол. США, тобто на 9,69 % у порівнянні із 2022 роком. В 2024 році і за прогнозом в 2025 році спостерігатиметься тенденція до зростання, за якої обсяг зросте на 25,92% в 2024 році (у порівнянні з 2023 роком) до обсягу в 539,5 млрд. дол. США та прогнозним подальшим збільшенням обсягів в 2025 році до обсягу в 611,58 млрд. дол. США.

В структурі світового ринку напівпровідників інтегральні схеми займали найбільшу питому вагу, що в динаміці мала тенденцію до зростання із рівня в 81,89% в 2015 році до 85,56% в 2024 році, і за прогнозом зросте в 2025 році до 87,26%.

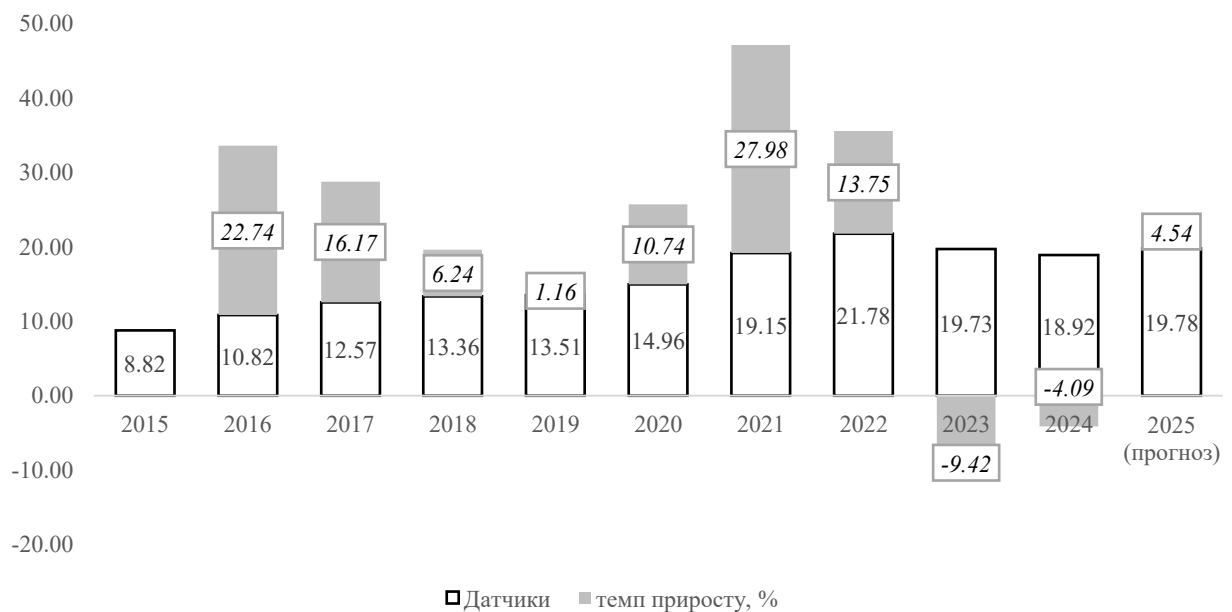


Рис. 2.10. Динаміка світового ринку датчиків в 2015-2025 рр., млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [148; 149]

У 2015 році обсяг ринку датчиків (сенсорів) становив 8,82 млрд. дол. США, а вже в 2016 році зріс на 22,74% і досягнув 10,82 млрд. дол. США. У

2017 році ринок продовжив зростати - на 16,17%, до рівня 12,57 млрд. дол. США. У 2018 році обсяг ринку сенсорів становив 13,36 млрд. дол. США, тобто темп зростання уповільнився до 6,24% у порівнянні з попереднім роком. У 2019 році ринок сенсорів становив 13,51 млрд. дол. США, збільшився лише на 1,16% у порівнянні з попереднім роком. У 2020 році ринок мав динаміку до зростання на 10,74% до обсягу в 14,96 млрд. дол. США. В 2021 році відбулося значне зростання ринку на 27,98%, внаслідок чого обсяг ринку зріс до 19,15 млрд. дол. США. У 2022 році тенденція до зростання збереглася, і при прирості на 13,75% обсяг ринку склав 21,78 млрд. дол. США. Проте у 2023 році спостерігалось зниження обсягів ринку на 9,42% до 19,73 млрд. дол. США, а в 2024 році ринок зменшився ще на 4,09% - до 18,92 млрд. дол. США. Разом з тим, прогноз на 2025 рік свідчить про повернення до динаміки до зростання: за прогнозом ринок сенсорів зросте на 4,54% в 2025 році і досягне обсягу в 19,78 млрд. дол. США.

За результатами проведеного аналізу конкурентна структура глобального ринку напівпровідників постає багаторівневою системою технологічно асиметричних взаємодій держав, корпорацій і технологічних альянсів, що функціонує в умовах олігополістичної конкуренції, технологічної ієрархізації, підвищених бар'єрів входу, високої монополізації окремих сегментів та значної територіальної і секторальної концентрації виробничих потужностей. Узагальнюючи вищенаведене, можемо стверджувати, що в умовах техноглобалізму конкурентна структура світового ринку напівпровідникової продукції трансформується у геоекономічно поляризовану модель, в якій домінують багаторівневі центри концентрації технологічної влади. Ці центри визначають розподіл глобальної технологічної ренти і світового технологічного лідерства на ключових сегментах доданої вартості, до яких належать проєктування, виробництво, обладнання та матеріали. Зазначена трансформація виступає головною рушійною силою посилення геоекономічної фрагментації глобального ринку напівпровідників.

2.3. Стратегічні моделі конкурентної взаємодії суб'єктів світового ринку напівпровідників

Напівпровідникова промисловість є критично важливим фактором розвитку не лише штучного інтелекту, але також є висококонцентрованим, фрагментованим і геополітично чутливим сектором. Декілька домінуючих компаній контролюють ключові етапи ланцюжка поставок, а напруженість, що зберігається у відносинах між США і Китаєм, доповнювана протиріччями, що виникають між США і країнами Європи, ще більше ускладнює міжнародну торгівлю. Напівпровідникова промисловість є символічним прикладом надзвичайно складної та глобально взаємозалежної екосистеми. Кожен мікрочіп та мікросхема проходить багатоетапний процес, що охоплює кілька країн, кожна з яких спеціалізується на найважливішому аспекті виробництва. Від видобутку сирого кремнію до передового виробництва, складання та тестування, жодна країна чи регіон не контролює весь ланцюжок постачання напівпровідників. Натомість галуззю керує складна мережа взаємозалежностей, що робить її вразливою для збоїв на будь-якому етапі. Більше того, цей децентралізований підхід до виробництва, хоч і ефективний, вносить безліч точок відмови, створюючи тонкий баланс між пропозицією, попитом та дотриманням нормативних вимог[202]. Виробники напівпровідників стикаються з зростаючим контролем з боку регулюючих органів. Глобальна торговельна політика тепер вимагає від компаній контролювати прямих постачальників, вторинних та третинних постачальників (постачальників рівня N), забезпечуючи дотримання етичних норм трудової практики та антикорупційного та санкційного законодавства. Законодавчі обмеження, такі як Закон Великобританії «Про сучасне рабство» [203], Закон Німеччини «Про зобов'язання щодо проведення корпоративної належної перевірки у ланцюжках поставок» («Закон про ланцюжки поставок»)

[204] та Угоду USMCA [205], змушують компанії посилювати нагляд та брати на себе повну відповідальність за етичні джерела постачання та умови праці по всьому ланцюжку постачання. У міру посилення цих законів напівпровідниковим компаніям доводиться враховувати ризики, пов'язані з дотриманням вимог, поряд з операційними складнощами.

З метою зниження ризиків, пов'язаних з експортними обмеженнями, виробники напівпровідників впроваджують комплекс нових стратегічних підходів. Компанії здійснюють диверсифікацію поставальників, активізують локалізацію закупівель та використовують методи прогнозного моделювання для передбачення та запобігання перебоям у функціонуванні ланцюгів постачання. Застосування автоматизованих інструментів моніторингу в режимі реального часу забезпечує можливість своєчасного виявлення ризиків і потенційних порушень нормативно-правових вимог до їх посилення чи зміни. Виробники напівпровідників інтегрують у свої операційні стратегії модель «вартість під ризиком» (Value at Risk), що дає змогу кількісно оцінювати фінансові ризики та визначати пріоритетні напрями вразливості в умовах зростаючої геоекономічної нестабільності.

Окрім виробництва та проектування, забезпечення безпеки постачання рідкоземельних елементів є ще одним критично важливим завданням для напівпровідникової промисловості. Ці дефіцитні ресурси мають ключове значення для виготовлення напівпровідників, і наразі Китай утримує провідні позиції як у сфері їх видобутку, так і в переробці - на частку країни припадає близько 60% світового видобутку та майже 90% переробки рідкоземельних елементів. Такий рівень домінування надає Китаю вагомий геополітичний важелі впливу, що було продемонстровано у 2010 році, коли країна тимчасово обмежила експорт цих ресурсів до Японії на тлі дипломатичного конфлікту. Подібні дії породжують занепокоєння щодо можливого застосування аналогічних обмежень у відношенні Європи та США, що може ще більше ускладнити постачання. Тому в умовах зростаючої геополітичної напруженості компанії, що спеціалізуються на виробництві напівпровідників,

повинні бути підготовлені до подальших порушень у функціонуванні глобальних ланцюгів постачання. Традиційні партнерства та альянси можуть бути дестабілізовані, незважаючи на зростаючі тенденції до рішорингу та ніаршорингу.

Сполучені Штати Америки активно впроваджують політику рішорингу з метою повернення виробничих потужностей та логістичних ланцюгів на свою територію. Контроль з боку Китаю за експортом стратегічно важливих мінералів також справляє суттєвий вплив на виробництво мікросхем, оскільки такі елементи, як вольфрам і телур, є критичними матеріалами для напівпровідникової галузі. Триваючі регіональні конфлікти потенційно посилюють ризики перебоїв у постачанні сировини та комплектуючих, що ускладнює процеси прогнозування попиту для виробників напівпровідників. За таких умов актуалізується необхідність підвищення гнучкості в адаптації стратегій управління ланцюгами постачання та формування цінових угод [206].

Концентрація експертних знань в обмеженій кількості ключових гравців ще більше посилює слабкість мережі постачання напівпровідників. Три компанії, Cadence, Synopsys і Mentor Graphics, контролюють майже 70% ринку систем автоматизованого проектування електроніки (EDA), тоді як голландський гігант ASML займає домінуюче становище на світовому ринку машин, необхідних для виробництва передових мікросхем. Тайвань та Південна Корея домінують у виробництві мікросхем, причому компанії суворо захищають свою інтелектуальну власність для збереження конкурентної переваги. Після виробництва спеціалізовані мікросхеми для III та графічні процесори в основному розробляються та поставляються Nvidia до США, що зміцнює концентровану структуру, яка робить галузь вкрай вразливою до геополітичних змін.

На сьогодні існує три моделі виробництва напівпровідників, що мають різні переваги та недоліки[207]:

1. Виробники вбудованих пристроїв (IDM). Модель IDM є комплексним підходом до виробництва напівпровідників. У цій моделі одна компанія контролює всі етапи виробництва, від досліджень і розробок (ДіР) до виготовлення та пакування мікросхем. Така вертикальна інтеграція дозволяє оптимізувати комунікацію між командами, що призводить до підвищення ефективності та прискорення виведення продукції на ринок. Прикладами IDM-компаній є Intel, Samsung та Texas Instruments.

Перевагами моделі IDM для виробництва напівпровідників є:

- тісна інтеграція сприяє швидшому вирішенню проблем та прийняттю рішень;

- високоякісний контроль над усім виробничим процесом підвищує якість.

Недоліками моделі IDM для виробництва напівпровідників є:

- потрібні великі початкові інвестиції в ДіР, виробничі потужності та устаткування;

- обмежена спеціалізація на кожному етапі виробничого процесу відрізняється від діяльності вузькоспеціалізованих компаній, які спеціалізуються виключно на окремих технологічних нішах, що, з одного боку, підвищує ефективність і якість, але, з іншого - посилює залежність у межах ланцюга створення доданої вартості.

2. Модель безфабричного виробництва. Домінуючою моделлю у сучасній напівпровідниковій галузі є підхід безфабричного виробництва. Такі компанії спеціалізуються на проектуванні мікросхем, розробляючи складні архітектури для конкретних програм, таких як ігри або обробка даних. З іншого боку, ливарні заводи спеціалізуються на виготовленні мікросхем із використанням передових технологій на основі розробок компаній, які не мають власних виробничих потужностей. Співпраця між цими двома організаціями має вирішальне значення для подолання розриву між інноваціями та їх фізичною реалізацією. У цій моделі компанії без своїх

виробничих потужностей концентруються на проектуванні мікросхем, тоді як ливарні заводи спеціалізуються на виготовленні мікросхем.

Підприємства без власних виробничих потужностей:

1) NVIDIA. Компанія відома своїми графічними процесорами (GPU), що використовуються в іграх та програмах штучного інтелекту, компанія NVIDIA фокусується на розробці високопродуктивних чіпів, оптимізованих для конкретних завдань;

2) AMD (Advanced Micro Devices). Одна з найбільших компаній у галузі графіки та обчислень, AMD розробляє чіпи для ігор, центрів обробки даних та інших програм.

Ливарні заводи:

1) TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company). TSMC - один з найбільших і передових заводів у світі. Компанія співпрацює з різними компаніями без власних виробничих потужностей для передових мікросхем з використанням передових технологічних вузлів;

2) GlobalFoundries. Провідний завод з виробництва напівпровідників пропонує передові технології виробництва для різних галузей промисловості.

Переваги моделі безфабричного виробництва напівпровідників:

- компанії, які не мають власних виробничих потужностей, можуть зосередитися виключно проектуванні, уникаючи накладних витрат на виробництво;

- ливарні заводи оптимізують процеси виготовлення, підвищуючи ефективність та масштабованість.

Недоліки моделі безфабричного виробництва напівпровідників:

- залежність від зовнішніх ливарних заводів може призвести до вразливості ланцюжка поставок;

- проблеми із зв'язком між географічно розкиданими організаціями можуть призводити до затримок.

3. Модель контрактного виробництва (fab-lite) забезпечує баланс між вертикальною інтеграцією та спеціалізацією. Компанії без власних

виробничих потужностей, що використовують технологію fab-lite, мають невеликі виробничі потужності часто для спеціалізованих проектів, таких як автомобілебудування або оборонна промисловість. Ці внутрішні ливарні заводи обслуговують менш технологічні вузли, забезпечуючи певний рієнь незалежності і використовуючи зовнішні ливарні заводи для передових технологій.

Компанії без власних виробничих потужностей із операціями fab-Lite:

1) Qualcomm. Компанія Qualcomm, відома своїми мобільними процесорами, має власні потужності з виробництва мікросхем для підтримки бездротових і мобільних технологічних продуктів;

2) Apple. Хоча спочатку Apple не мала власних виробничих потужностей, повідомляється, що вона вивчає можливості власного виробництва мікросхем для певних сфер застосування.

Переваги використання моделі fab-lite у виробництві напівпровідників:

- знижує ризики пов'язані з повною залежністю від зовнішніх ливарних заводів;

- дозволяє налаштовувати виробництво мікросхем для конкретних цілей та застосування.

Недоліки використання моделі fab-lite у виробництві напівпровідників:

- досягнення правильного балансу між власним та зовнішнім виробництвом може бути складним завданням;

- потрібен досвід як у проектуванні, так і у виготовленні мікросхем.

Отже, IDM-виробники мають найбільший контроль над усім виробничим процесом, але при цьому є найбільш капіталомісткими. Компанії без власних виробничих потужностей гнучкіші і можуть швидше реагувати на зміни ринку, але при цьому сильніше залежать від заводів-виробників. Компанії із власними виробничими потужностями (fab-lite) пропонують баланс між контролем та гнучкістю.

Напівпровідники - це вузькоспеціалізовані продукти, які потребують спеціалізованих виробничих процесів, які є взаємозамінними. Наприклад,

підприємство, що випускає високопродуктивні прискорювачі штучного інтелекту, не може бути перепрофільоване для виробництва силових напівпровідників або мікросхем пам'яті з зв'язку з принциповими технологічними відмінностями у процесах виробництва та вимогах до обладнання. Сучасна електроніка вимагає використання різноманітних мікросхем, що постачаються з різних куточків світу. Відсутність одного компонента, наприклад, мікросхеми пам'яті, мікроконтролера або навіть простого регулятора напруги може призвести до зупинки виробництва, що підтверджується перебоями в ланцюжках поставок у різних галузях - від автомобілебудування до виробництва побутової електроніки.

На сьогодні жодна окрема країна чи компанія не здатна самостійно забезпечити повний цикл виробництва напівпровідників. Ланцюги створення вартості мають складну географічну структуру, що зумовлено як технологічною спеціалізацією, так і складною системою глобальних економічних та торговельних відносин [196].

Ланцюжок постачання напівпровідників складний і включає кілька критичних етапів (табл. 2.6), включаючи проектування, виробництво, постачання обладнання, упаковку та тестування. Кожен із цих етапів зосереджений у руках кількох домінуючих компаній. Ця монополізація обумовлена кількома чинниками:

- значними капіталовкладеннями;
- складністю технологій;
- стратегічною важливістю контролю за ключовими можливостями.

Таблиця 2.6

Основні ланки ланцюжка поставок та їх основні учасники світового ринку напівпровідників

Ланки ланцюга постачання	Ключовий гравець	Характер монополії	Інші учасники
1. Проектування мікросхем	NVIDIA	Лідер у розробці графічних процесорів (GPU) та чіпів для ШІ. Монополія ґрунтується на домінуванні в сфері високопродуктивної графіки та власній платформі CUDA.	AMD, Qualcomm (конкуренція в інших підсегментах)
2. Виробництво напівпровідників (ливарне виробництво)	TSMC	Контролює понад 50% світового ринку. Монополія заснована на володінні передовими техпроцесами (5-нм, 3-нм) та масштабованості виробництва.	Samsung (єдиний серйозний конкурент), Intel (відстає)
3. Виробництво обладнання	ASML	Єдиний виробник EUV-літографічних систем для виробництва напівпровідників <5 нм. Технологічна монополія заснована на унікальних ноу-хау та великих НДДКР.	Nikon, Canon (лише у сфері застарілого обладнання)
4. EDA - Засоби автоматизованого проектування	Synopsys, Cadence	Домінування у сфері EDA-програмного забезпечення. Висока вартість переходу для користувачів обмежує можливість появи нових конкурентів.	Інші гравці не мають істотної частки ринку
5. Упаковка та тестування	ASE Technology Holding	Найбільший постачальник послуг OSAT. Хоча ринок менш концентрований, ASE домінує завдяки інноваційним 3D-рішенням та багатокристалічним модулям.	Дрібніші постачальники у різних регіонах

Джерело: складено автором за [208]

Розглянемо даних учасників та етапи більш детально [208].

1. Проектування мікросхем. На етапі проектування мікросхем ключову роль відіграють компанії, які володіють власними розробками архітектури мікропроцесорів і програмними платформами. Серед них беззаперечним лідером є компанія NVIDIA, що домінує у сегменті графічних процесорів (GPU) та мікросхем для систем штучного інтелекту. Перевага NVIDIA значною мірою обумовлена наявністю власної програмної платформи CUDA, яка є галузевим стандартом у розробці та реалізації програмного забезпечення для обчислювальних задач на графічних процесорах. Домінування компанії в

ігровому секторі, центрах обробки даних та застосуваннях III сприяло фактичному формуванню монопольної позиції у сфері високопродуктивної графіки та паралельних обчислень.

До інших важливих гравців на ринку проєктування мікросхем належать AMD та Qualcomm, які зосереджені відповідно на центральних процесорах і мікросхемах для бездротового зв'язку. Втім, ці компанії не забезпечують суттєвої конкуренції для NVIDIA саме у сфері графічних процесорів.

2. Виробництво напівпровідників (контрактне виробництво та ливарне виробництво). Однією з найкритичніших ланок у ланцюжку постачання є безпосереднє виробництво напівпровідникових компонентів. TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) виступає провідним світовим контрактним виробником, питома вага якого становить 50 % глобального ринку. Компанія спеціалізується на високотехнологічному виробництві, а саме на технологічних вузлах 5-нм і 3-нм, що дає їй можливість задовольняти потреби найвимогливіших клієнтів зі всього світу у сегменті мікросхем з високою продуктивністю та енергоефективністю. Основним конкурентом TSMC виступає Samsung, який також розробляє передові технічні процеси, однак поступається за масштабами виробництва та рівнем якості та функціоналу виробів. Компанія Intel, незважаючи на свій історичний вплив у галузі, наразі демонструє труднощі з адаптацією до нових технологічних вимог і поступається лідерам за якісними та кількісними показниками.

3. Виробництво обладнання. На ринку виробництва технологічного обладнання для напівпровідникової промисловості компанія ASML (Нідерланди) займає унікальну монопольну позицію як єдиний постачальник систем екстремальної ультрафіолетової (EUV) літографії. Такі установки є критично необхідними для виготовлення передових мікросхем з топологією менше 5 нм. Технологічна перевага ASML забезпечується десятиліттями інвестицій у науково-дослідні роботи та акумульованим ноу-хау, що створює майже непереборні бар'єри для входу на цей сегмент ринку нових гравців.

Конкуренцію на ринку менш прогресивного літографічного обладнання формують Nikon і Canon, проте їхні рішення вже не відповідають сучасним вимогам високотехнологічного виробництва.

4. Засоби автоматизованого проєктування електронних пристроїв (EDA). У сфері програмного забезпечення для автоматизації проєктування електронних схем (EDA) ринок є високо концентрованим. Провідними компаніями в даній сфері є Synopsys і Cadence, які надають повний спектр інструментів для створення, моделювання та тестування цифрових і аналогових схем. Їхні платформи широко використовуються більшістю провідних виробників мікросхем, а високі витрати на перехід до альтернативних рішень додатково зміцнюють монопольне становище цих компаній.

5. Упаковка та тестування напівпровідників. Завершальний етап ланцюга постачання, упаковка та тестування мікросхем, характеризується відносно нижчим рівнем концентрації, проте компанія ASE Technology Holding є найбільшим світовим постачальником послуг у цьому сегменті (аутсорсинг складання та тестування, OSAT). Лідерські позиції ASE пояснюються впровадженням інноваційних рішень у галузі 3D-стекування та багатокристалічних модулів, що є критично важливим у контексті зростання складності мікросхем і вимог до продуктивності.

Таким чином, сектор залежить від кількох ключових гравців - NVIDIA, Apple, Samsung та Intel, які домінують у виробництві графічних процесорів нового покоління та високошвидкісної пам'яті, необхідних для серверів зі штучним інтелектом. В даний час компанія TSMC виробляє всі передові у світі чіпи для штучного інтелекту, поставляючи продукцію таким лідерам галузі, як Apple і NVIDIA, що створює потенційне «вузьке місце».

Провідний світовий виробник напівпровідників - компанія TSMC утримує своє технологічне лідерство та продовжує розширювати глобальну присутність. У 2024 році було розширено виробництво 3-м техпроцесу (N3) для таких продуктів, як чіп A17 від Apple, а масовий запуск виробництва 2-м

техпроцесу заплановано на кінець 2025 року [209]. Новий вузол N2 із використанням транзисторів з круговим затвором нанолиста забезпечує приблизно на 15% вищу швидкодію та на 30-35% нижче енергоспоживання порівняно з 3-нм технологією [210]. Для реалізації цих планів компанія TSMC збудувала нові виробничі потужності на Тайвані (у містах Баошань і Гаосюнь) і має намір досягти рівня у 50 тис. запусків пластин на місяць за 2-нм технологічним процесом до кінця 2025 року з подальшим масштабуванням до понад 120 тис. запусків на місяць у 2026 році [211].

Вперше компанія здійснює масштабні інвестиції у виробничі потужності за межами Тайваню: будує передові логічні фабрики в Арізоні, США (за підтримки субсидій згідно з американським законом CHIPS), у Кумамото, Японія (спеціалізована фабрика у співпраці з Sony та Denso). Незважаючи на підвищені витрати та затримки (запуск 4-нм фабрики в Арізоні перенесено на другу половину 2025 рік через дефіцит робочої сили та кваліфікованих кадрів), компанія TSMC послідовно реалізує стратегію географічної диверсифікації виробництва. Крім того, компанія суттєво нарощує свої передові потужності з упаковки напівпровідників для задоволення зростаючого попиту на продукти з архітектурою чиплетів. Лінії упаковки CoWoS (chip-on-wafer-on-substrate), які є ключовими для інтегрованих рішень з HBM-пам'яттю, наразі масштабуються з метою утримати збільшити потужності після майже повного завантаження у 2024 році [212].

У контексті бізнес-структури спостерігаються зміни у джерелах доходу: високопродуктивні обчислення (процесори для дата-центрів, графічні процесори, прискорювачі штучного інтелекту) випередили сегмент смартфонів і стали основним джерелом доходів TSMC, що свідчить про зміну драйверів попиту у галузі [213]. Володіючи беззаперечним технологічним лідерством, компанія TSMC прагне зберегти домінування на ринку передових напівпровідникових рішень, одночасно адаптуючись до геополітичного тиску та зростаючих вимог щодо локалізації виробництва.

Компанія NVIDIA стала одним із найбільших переможців епохи штучного інтелекту, міцно закріпившись серед провідних світових компаній з виробництва напівпровідників. У 2024 році доходи NVIDIA різко зросли на 84%, що вивело компанію на третє місце за світовими продажами напівпровідників (поступаючись тільки Samsung і Intel)[212]. Це зростання зумовлене переважно високим та стійким попитом на прискорювачі штучного інтелекту та графічні процесори, вироблені компанією NVIDIA. Флагманські графічні процесори H100 (створені на 4 нм техпроцесі TSMC з удосконаленою упаковкою CoWoS) стали фактичним стандартом для навчання моделей ШІ настільки, що хмарні провайдери та підприємства розкупили всі H100, які могла поставити Nvidia, при цьому подальші замовлення були зарезервовані. NVIDIA швидко запускає продукти, щоб отримати вигоду з попиту на ШІ: наприкінці 2024 року вона представила платформу GH200 Grace Hopper, що об'єднує графічний процесор Hopper з центральним процесором Grace і пам'яттю з високою пропускнуою здатністю, націлену на гігантські робочі навантаження. Очікується, що у 2025 році компанія NVIDIA представить архітектури графічних процесорів наступного покоління (за чутками, покоління Blackwell) для подальшого підвищення продуктивності штучного інтелекту на ват.

Компанія NVIDIA також розширює своє портфоліо за межі графічних процесорів. Її центральний процесор Grace (спеціальний серверний процесор на базі Arm) почне поставлятися, щоб конкурувати в штучному інтелекті та хмарних серверах (часто в парі з графічними процесорами). Вихід компанії NVIDIA на ринок мережових рішень та з'єднань центрів обробки даних (після придбання Mellanox) означає, що тепер вона продає DPU (блоки обробки даних) та високошвидкісні комутатори Ethernet/NVLink, забезпечуючи більшу частину складових центрів обробки даних ШІ.

В автомобільному секторі платформа NVIDIA DRIVE демонструє дизайнерські успіхи в програмах автономних транспортних засобів, а майбутня система на кристалі Thor спрямована на поєднання функцій

автономного водіння та інформаційно-розважальних систем на одному чіпі. Незважаючи на відсутність власних виробничих потужностей, вплив компанії NVIDIA на виробництво напівпровідників суттєво: її потреби спонукають TSMC інвестувати у збільшення ємності та можливостей упаковки [211], а дефіцит III-графічних процесорів NVIDIA у 2024 році навіть спонукав деякі країни (наприклад, Китай) прискорити розробку власних чіпів. Ринкова капіталізація компанії NVIDIA перевищила 1 трлн. дол. США, що відображає віру інвесторів у те, що кремній на основі III стане багаторічним двигуном зростання. До кінця 2025 року компанія NVIDIA зіткнеться з низкою викликів, серед яких посилення конкурентного тиску з боку таких гравців, як AMD, власники спеціалізованих рішень на основі TPU від Google, численні інноваційні стартапи. Компанія NVIDIA повинна дотримуватися вимог експортного контролю, що обмежує постачання її передових III-чіпів (H100 і A100) до Китаю. Це змушує NVIDIA адаптувати свої продукти, наприклад, створюючи модифіковані версії, як-от A800. Станом на середину 2025 року компанія демонструє безпрецедентне зростання та фактично відіграє ключову роль у поточному підйомі глобального ринку напівпровідників, зумовленому стрімким розвитком штучного інтелекту.

Компанія Intel реалізує амбітний план щодо відновлення лідерства у виробництві мікросхем та розширення свого ливарного бізнесу. Протягом 2024-2025 років Intel реалізує свою дорожню карту «5 технологічних вузлів за 4 роки». Після запуску свого 7-нм техпроцесу Intel 4 (використовується в клієнтських процесорах Meteor Lake 2023) компанія Intel прискорює розробку своїх вузлів 20A (2 нм) і 18A (1,8 нм) з живленням PowerVia на задній стороні і транзисторами RibbonFET. На початку 2025 року компанія Intel представила прототип чіпа Panther Lake, побудованого на 18A, і підтвердила, що 18A надійде у масове виробництво наприкінці 2025 року [214]. Ці вузли призначені для власних продуктів компанії Intel (таких як процесори Core і Xeon наступного покоління), є ключовими послуг компанії Intel з виробництва - компанія залучає клієнтів без власних виробничих потужностей виробництва

на базі Intel 18A як конкурентоспроможної альтернативи TSMC. Компанія вже отримала кілька замовлень на виробництво (наприклад, угоду на виробництво чіпів для MediaTek і партнерські відносини з Міністерством оборони США), також компанія має оголосити про великих клієнтів по хмарних чи мобільних чіпах, які наразі неоголошено через питання конфіденційності.

Для розширення потужностей компанія Intel будує нові мегафабрики в Арізоні та Огайо (США) та планує фабрику в Магдебурзі, Німеччина, кожна з яких підтримується державними стимулами чи субсидіями. На даний момент Intel отримала близько 2,2 млрд. дол. США у вигляді грантів згідно із Законом США про CHIPS для своїх проектів [215]. Тим не менш, шлях Intel не обходиться без труднощів - її дохід від напівпровідників у 2024 році залишилася на рівні 49 млрд. дол. США [212], оскільки компанія поступилася місцем провідного постачальника гравцям на ринку чіпів для пам'яті. Бізнес Intel з виробництва клієнтських ПК та серверних процесорів зіткнувся з жорсткою конкуренцією, і хвиля прискорювачів штучного інтелекту була на підйомі (її прискорювачі ШІ на базі графічних процесорів поки що мали обмежену ринкову популярність [212]). Генеральний директор компанії Пет Гелсінгер надає оптимістичні прогнози і вважає, що до кінця 2025-2026 років Intel повернеться до паритету та/або лідерства в технологічному процесі і наростить виробництво для інших суб'єктів ринку. Intel також подвоює ставку на передову упаковку (свої технології EMIB і Foveros), щоб пропонувати послуги з упаковки та створювати власні гетерогенні «чіплетні» продукти. 2025 рік стане визначальним з точки зору оцінки здатності компанії Intel своєчасно реалізувати заплановану дорожню карту розвитку технологічних процесів та розпочати скорочення розриву у частках ринку контрактного виробництва напівпровідників порівняно з такими лідерами галузі, як TSMC та Samsung.

Samsung є ключовим гравцем на світовому ринку мікроелектроніки, поєднуючи статус одного з провідних виробників мікросхем пам'яті з позицією другого за масштабами контрактного виробника логічних

мікросхем. У 2024 році напівпровідниковий підрозділ Samsung продемонстрував значне зростання, дохід виріс на 62% (до 66,5 млрд. дол. США) на тлі відновлення цін на пам'ять. Це дозволило компанії Samsung зайняти перше місце по світових продажах напівпровідників, відібравши першу позицію у компанії Intel [212]. У сфері виробництва мікросхем пам'яті компанія Samsung, спільно з SK Hynix та Micron, у 2023 році скоригувала обсяги виробництва з метою подолання надлишкової пропозиції на ринку, що сприяло суттєвому підвищенню цін на DRAM і NAND у другій половині 2024 року. Так компанія Samsung інвестує в виробництво спеціалізовану мікросхему пам'яті, таку як HBM (пам'ять з високою пропускнуою здатністю), яка критично важлива для робочих навантажень III - попит на HBM настільки високий, що Gartner очікує, що доходи від HBM зростуть на 66% у 2025 році [211].

У контексті ливарного виробництва Samsung демонструє прагнення досягти технологічної паритетності з провідними позиціями компанії TSMC. У середині 2022 року Samsung першою серед конкурентів запровадила 3-нанометрову технологію виробництва на основі архітектури GAA (Gate-All-Around). Проте, на початкових етапах впровадження відзначалося низьке значення виходу придатних кристалів, що призвело до втрати частини замовлень на користь TSMC. Наразі компанія фокусується на вдосконаленні другого покоління 3-нм технічного процесу та розробці 2-нм вузла, серійне виробництво якого заплановано на кінець 2025 року. Попередні результати досліджень і розробок свідчать про перевищення очікуваних показників виходу придатної продукції для 2-нм технічного процесу (SF2), а тестове виробництво процесора Samsung Exynos 2600 за цією технологією вже досягло орієнтовного рівня виходу придатних у межах 30%. Якщо прогрес продовжиться, Samsung має намір розпочати масове виробництво 2 нм до четвертого кварталу 2025 року, що приблизно відповідає дорожній карті TSMC [213]. Компанія Samsung також планує розвивати технологію до 1,4 нм близько 2027-2028 років (хоча деякі джерела припускають, що 1,4 нм може

бути відкладено до кінця десятиліття). Стратегічно Samsung показала ознаки реструктуризації, щоб підвищити свою конкурентоспроможність - наприклад, компанія розглядала можливість поділу свого ливарного бізнес-підрозділу, щоб надати йому більше автономії та зосередитись [212]. Компанія Samsung також розширює виробництво за межами Південної Кореї: вона будує фабрику в Техасі, США (Тейлор, Техас) та оцінює потенційну фабрику в Європі, здобуваючи вигоду з державних стимулів. На автомобільному та мобільному ринках Samsung LSI продовжує розробляти чіпи (такі як мобільні процесори та датчики зображення), і нещодавно вона випустила нову пам'ять автоматичного класу (LPDDR5X) для сучасних транспортних засобів. Завдяки впровадженню заходів у 2025 році Samsung зміцнює свої позиції, відновлюючи лідерство в галузі мікросхем пам'яті та прагнучи скоротити розрив з TSMC у передових логічних процесах.

Qualcomm залишається провідним постачальником чіпсетів для мобільних телефонів, але 2025 року вона активно диверсифікує свій портфель, оскільки зростання ринку смартфонів уповільнюється. Флагманська система на чипах Qualcomm Snapdragon лежить в основі більшості преміальних телефонів Android, і компанія продовжує вдосконалювати ці розробки з використанням передових процесів TSMC (остання серія Snapdragon 8 використовує TSMC 4 нм, а наступне покоління очікується на базі 3 нм). Ці мобільні SoC тепер наголошують на обробці ШІ на пристрої (для камери, голосу, тощо), що відповідає тенденції використання штучного інтелекту на периферії. В 2024 році світові поставки чіпсетів для смартфонів були відносно стабільними, компанія Qualcomm виходить на нові ринки. Наприкінці 2024 року компанія Qualcomm здійснила суттєвий прорив у сегменті процесорів для персональних комп'ютерів, презентувавши чип Snapdragon X Elite - процесор для ноутбуку на архітектурі Arm, розроблений на основі індивідуального ядра Nuvia. Цей крок став спробою посилити конкуренцію з процесорами серії M від Apple, рішеннями компаній Intel та AMD у середовищі ПК з операційною системою Windows. Продукти, запуск яких запланований на 2025 рік із цим

чіпом, стануть перевіркою можливості Qualcomm захопити частину ринку ПК, прогнозуючи високу продуктивність та ефективність.

Qualcomm також активно інвестує в автомобільні чіпи. Її платформа Snapdragon Digital Chassis (що поєднує можливості підключення, інформаційно-розважальні системи, ADAS та автономність) завоювала дизайнерські переваги у автовиробників. Наприклад, багато нових автомобілів використовують SoC Qualcomm для своїх інформаційно-розважальних систем, а придбання Qualcomm ARRIVER додало передові алгоритми допомоги водію у продуктивний портфель компанії. Автомобільний напівпровідниковий TAM зростає, і Qualcomm очікує отримати значний прибуток від цього сегмента в найближчі роки. Ще одна перспективна сфера застосування - це Інтернет речей (IoT) та носимі пристрої. Qualcomm пропонує чіпи Snapdragon для гарнітур AR/VR, розумного годинника та промислового IoT, використовуючи свій досвід у галузі бездротового зв'язку (5G, Wi-Fi, Bluetooth). В області 5G Qualcomm залишається ключовим власником патентів і постачає багато радіочастотних і модемних чіпів для телефонів і підключених пристроїв (Apple намагається інтерналізувати виробництво модемів, але станом на 2025 рік Qualcomm все ще постачає 5G-модеми для iPhone.) На технологічному фронті Qualcomm виявила інтерес до RISC-V для певних продуктів і приєдналася до альянсів RISC-V

Таким чином, компанія Qualcomm стикається з викликом збереження провідних позицій у мобільному сегменті на тлі посилення конкуренції з боку нових гравців, наприклад, чіпів Tensor від Google та власних рішень OEM-виробників. Компанія активно нарощує свою присутність у сегментах персональних комп'ютерів і автомобільної електроніки. Широкий портфель інтелектуальної власності у сфері бездротових технологій, стратегічна диверсифікація в нові ринки роблять Qualcomm одним із ключових учасників глобального ринку напівпровідників.

Прогнозується, що у найближчій перспективі інвестиційна активність з боку учасників ринку збережеться по всьому ланцюгу створення доданої

вартості в галузі напівпровідників, оскільки компанії адаптують свої бізнес-моделі до вимог нової технологічної епохи. Так, компанія Intel оголосила про намір виділити свої ливарні операції в окрему дочірню структуру з одночасним запуском виробничого партнерства з Amazon у сфері чипів для систем штучного інтелекту. У листопаді 2024 року уряд США в межах ініціативи адміністрації Байдена-Гарріс завершив надання компанії Intel прямого фінансування у розмірі 7,9 млрд. дол. США на підтримку капіталовкладень у розмірі 100 млрд. дол. США з метою посилення позицій країни у сфері виробництва та розробки напівпровідників. Ці заходи здійснюються в рамках реалізації положень Закону CHIPS and Science Act, прийнятого у 2022 році, що передбачає довгострокову підтримку національної напівпровідникової промисловості через державні субсидії. Одночасно відбувається активізація процесів стратегічної консолідації у галузі. Заявлена угода AMD щодо придбання ZT Systems за 4,9 млрд. дол. США має на меті зміцнення інженерного потенціалу та розширення портфеля інтелектуальної власності компанії, що є відповіддю на посилення позицій NVIDIA у сегменті центрів обробки даних для ІІІ.

Висновки до розділу 2

1. Світовий ринок напівпровідників як один з найбільш динамічних сегментів глобального ринку в епоху глобалізації демонструє високі темпи розвитку, циклічну динаміку та докорінну географічну трансформацію. Техноглобалізаційні умови його розвитку з року в рік супроводжуються розмиванням пануючої у попередні десятиліття центрально-периферійної конфігурації з безумовним домінуванням Сполучених Штатів Америки та держав-лідерів. Відбувається поступова переорієнтація глобальної технологічної влади у бік країн Азіатсько-Тихоокеанського регіону, головні гравці якого послідовно нарощують власні технологічні потенції та ресурси у напівпровідниковому сегменті світового ринку. Найбільші конкурентні переваги сьогодні мають Китай, Тайвань і Республіка Корея, що вже у

недалекому майбутньому докорінно трансформує архітектуру цього ринку з її переходом до поліцентричної моделі.

2. Однією з іманентних рис світового ринку напівпровідників є надзвичайно високий рівень його монополізації як вираження зосередження науково-технологічної влади у руках провідних багатонаціональних фірм, що функціонують у цьому секторі світового господарства. Лівову частку сукупної ринкової капіталізації акумулює вузьке коло компаній-лідерів, що засвідчує граничну капіталізацію інноваційних ресурсів галузі. Саме високий рівень монополізації підтверджує глобальне лідерство Сполучених Штатів Америки за усіма ключовими ланками створення вартості - від розроблення мікропроцесорної архітектури до випуску спеціалізованого технологічного устаткування та проєктних програмних платформ для мікроелектроніки. Таке лідерство цементує верхні щаблі держави у світовій технологічній ієрархії та загострює регіональну нерівномірність глобальної напівпровідникової екосистеми.

3. Конкурентна структура світового ринку напівпровідників має виражені ознаки олігополії, за якої доля визначальних сегментів ланцюга створення вартості зосереджена у руках обмеженого кола ключових гравців, наслідком чого є підвищена чутливість галузі до збоїв в окремих вузлах та геополітичних ризиків. Головною рушійною силою сучасної структурної динаміки цього ринку виступає міжнародна виробнича кооперація. Саме вона забезпечує розподіл технологічних компетенцій між учасниками, формування глобальних мереж постачання та доступ до критичних технологій і матеріалів. Тим не менше, попри високий рівень міжнародної виробничої кооперації, галузь зазнає потенційних економічних втрат під впливом пандемічних шоків, заходів експортного контролю, природних катаклізмів, ризиків переривання постачання критичних матеріалів та технологічних збоїв. Комплексне врахування дії подібного роду факторів виступає сьогодні серйозним методологічним підґрунтям для розроблення національними урядами

стратегічних рішень у сфері технологічного суверенітету держави та корпоративного управління ризиками постачання.

4. Враховуючи пріоритетну роль напівпровідникового сектору у забезпеченні високих конкурентних позицій держав на глобальному ринку, національні уряди багатьох країн упродовж останніх десятиліть розробили доволі ефективні програми підтримки цього сектору. З-поміж найбільш поширеного інструментарію найвищу ефективність демонструють прямі бюджетні гранти на будівництво виробничих потужностей, пільгове кредитування галузевих проєктів, цільові податкові преференції, державні інвестиційні фонди розвитку мікроелектроніки та субсидування досліджень і розробок. Своєю синергетичною дією зазначений інструментарій забезпечує локалізацію критичних виробництв, нарощування національних науково-технологічних компетенцій, зміцнення стійкості ланцюгів постачання та поступову переорієнтацію світової економіки на принципи технологічного суверенітету.

5. Напівпровідникова галузь характеризується трьома основними моделями організації виробництва - інтегрованим виробництвом пристроїв, безфабричним проєктуванням та комбінованою моделлю. Водночас стратегічна поведінка провідних компаній орієнтована на посилення вертикальної інтеграції, головним механізмом якої виступають злиття і поглинання. Упродовж останніх десятиліть злиття і поглинання перетворилися на провідний інструмент нарощування капіталізації ринку та зміцнення ринкових позицій його ключових гравців. З огляду на здобуті фірмами конкурентні переваги, вони залишаються головним механізмом акумуляції капіталу й технологічних ресурсів у секторі та водночас слугують інструментом подолання структурних дисбалансів у глобальних ланцюгах постачання.

6. Сучасна конкурентна еволюція світового ринку напівпровідників розгортається під дією комплексу взаємопідсилюючих трендів, які поступово переформатовують усю логіку галузевого суперництва. Дедалі виразніше

окреслюється регіоналізація виробництва та геоекономічна фрагментація глобальних ланцюгів постачання, спричинені прагненням провідних держав забезпечити власні технологічні позиції. Паралельно посилюється інструментарій технологічного протекціонізму - розширення практик експортного контролю та масштабне субсидування національних виробників, - який перетворюється на самостійний чинник перерозподілу конкурентних переваг. Водночас набирають обертів масштабування контрактного виробництва за foundry-моделлю, поглиблення вертикальної інтеграції стратегічних ланок та нарощування інвестицій у дослідження і розробки. У сукупності ці тренди засвідчують перехід галузі до багатополюсної конфігурації технологічних центрів і загострення боротьби за контроль над найбільш критичними сегментами створення доданої вартості.

Результати дослідження в рамках розділу 2 представлено в публікаціях здобувача [181], [182], [187], [188].

РОЗДІЛ 3

СЦЕНАРНІ ТРАЄКТОРІЇ КОНКУРЕНТНОГО РОЗВИТКУ СВІТОВОГО РИНКУ НАПІВПРОВІДНИКІВ

3.1. Квантова перевага як детермінанта розвитку національних напівпровідникових екосистем

Напівпровідникова індустрія перебуває у фазі масштабних структурних змін, зумовлених синхронною дією технологічних, економічних, геополітичних чинників. Ключовими імпульсами розвитку виступають інтенсивне поширення рішень у сфері штучного інтелекту, розширення практичних застосувань квантових обчислень, трансформація архітектури глобальних міжнародних відносин. Суттєвого значення набуває зростаючий попит на вузькоспеціалізовані мікросхеми, здатні забезпечувати стабільну, високопродуктивну роботу сучасних цифрових платформ, інноваційних сегментів економіки. Сукупна дія зазначених факторів формує передумови прискореного розвитку напівпровідникового сектору, посилення його ролі у підтриманні технологічної спроможності держав, корпорацій, поглиблення залученості до глобальних ланцюгів створення вартості.

У 2025 році розвиток галузі визначається поєднанням технологічних проривів, геополітичних змін та зростанням попиту на рішення для штучного інтелекту, автомобільної промисловості та Інтернету речей. Штучний інтелект і методи машинного навчання відкривають нові можливості для оптимізації традиційних напівпровідникових архітектур. Особливе значення набувають чіпи, спеціально розроблені для обчислень ШІ, серед яких виділяються спеціалізовані інтегральні схеми (ASIC), графічні процесори (GPU) та тензорні процесори (TPU), які дедалі частіше визначають динаміку ринку. Розвиток цих компонентів формує нові тенденції у проектуванні та використанні чіпів для штучного інтелекту [216]:

1. Периферійні ШІ-чіпи. З огляду на зростаючий попит на обробку даних у режимі реального часу, спеціалізовані ШІ-чіпи для периферійних обчислень поступово набувають більшої продуктивності та енергоефективності, яка дозволяє оптимізувати локальні обчислювальні процеси без залежності від центральних серверів.

2. Нейроморфні обчислення. Виробники напівпровідників активно досліджують архітектури чіпів, які імітують роботу біологічного мозку. Такі рішення забезпечують підвищену ефективність алгоритмів штучного інтелекту при одночасному зменшенні енергоспоживання, створюючи перспективи для інтеграції ШІ у мобільні та автономні системи.

3. Архітектура чіплетів. Для подолання обмежень монолітних конструкцій напівпровідникових виробів компанії переходять до модульної організації чіпів. Використання чіплетів дозволяє масштабувати продуктивність, підвищувати гнучкість дизайну та скорочувати витрати на виробництво високотехнологічних мікросхем.

Створення спеціалізованих мікросхем для інтелектуальних систем, упровадження передових технологічних норм виробництва, поступ у напрямі квантових обчислень формують нові простори можливостей для розвитку сучасних напівпровідникових рішень. Паралельно ускладнення глобальних ланцюгів постачання, посилення ініціатив у сфері сталого розвитку змушують корпорації переглядати операційні моделі, коригувати стратегічні пріоритети відповідно до змінених економічних, технологічних реалій. Квантові обчислення розглядаються як наступна фаза еволюції інформаційних технологій, оскільки вони забезпечують принципово вищий рівень обчислювальної спроможності, відкривають перспективи створення програмних рішень нового покоління. Поєднання можливостей квантових алгоритмів із фізичними властивостями сучасних напівпровідникових матеріалів сприяє формуванню альтернативних підходів до обробки даних, розширенню усталених меж цифрових технологій.

Підґрунтя квантових обчислень формується на основі положень квантової механіки, завдяки яким розкривається логіка поведінки частинок на субатомному рівні та висвітлюються складні, нетривіальні властивості квантових станів. Попри стрімке розширення наукових досліджень у межах зазначеної проблематики, єдиного, загальноприйнятого визначення терміна «квантова перевага» наукове середовище досі не напрацювало. Однією з перших спроб концептуального осмислення цього поняття стала інтерпретація, запропонована Джоном Прескіллом. Попри широке використання цього поняття у фаховій літературі, представники окремих наукових шкіл, зокрема дослідники компанії IBM, висловлюють застереження щодо коректності його однозначного трактування, що засвідчує відсутність усталеного консенсусу в науковому середовищі [217]. Відповідно до підходу науковця квантова перевага пов'язується з класом обчислювальних задач, розв'язання яких є досяжним для квантових пристроїв з практично реалізованою ефективністю, за умови що жоден наявний або теоретично можливий класичний обчислювальний засіб не спроможний забезпечити аналогічний результат незалежно від прикладної значущості такого завдання в інших сферах використання [217].

Квантову перевагу доцільно розглядати як здатність квантових обчислювальних систем виконувати окремі алгоритмічні операції або їхні комбінації з істотно меншими витратами часових, енергетичних або фінансових ресурсів у порівнянні з найбільш ефективними класичними алгоритмами, що використовуються на сучасних високопродуктивних обчислювальних платформах. Значущість такої властивості особливо посилюється у ситуаціях, коли розв'язання ідентичних за змістом обчислювальних задач із застосуванням традиційних засобів наближається до практичної недосяжності через експоненційне зростання ресурсної складності та непропорційно високі вимоги до обчислювальної інфраструктури.

Поряд із науковими інтерпретаціями існують прикладні визначення квантової переваги, орієнтовані на економічну доцільність використання

відповідних технологій. У такому розумінні квантова обчислювальна система створює пряму фінансову цінність для бізнесу, надаючи змогу розв'язувати задачі, які не піддаються реалізації іншими обчислювальними засобами. У менш формалізованих підходах квантова перевага асоціюється зі здатністю системи виконувати обчислювальні операції значно швидше або з нижчими витратами енергії, капіталу порівняно з будь-якими відомими класичними рішеннями [217].

Дослідження квантових властивостей напівпровідникових матеріалів сприяє визначенні ролі квантової механіки у формуванні довгострокових орієнтирів розвитку інформаційних технологій. Фундаментальні закономірності квантової фізики лежать в основі процесів перенесення заряду та взаємодії електронів у напівпровідникових структурах, характеризуючи фізичну природу їхньої поведінки на мікрорівні. Дана фізична основа відкриває можливості для створення електронних пристроїв із параметрами та режимами експлуатації, які не реалізуються в межах класичних технологічних рішень. У результаті напівпровідникові матеріали набувають статусу провідної технологічної платформи, на якій вибудовується формування та подальша еволюція рішень у сфері квантових обчислень [218].

Квантові обчислення слід розглядати як революційний інструмент удосконалення технологічних процесів у сфері виробництва напівпровідникової продукції, які спрямовані на [219]:

1. Виявлення нових матеріалів. Так, використання квантових алгоритмів створює можливість оперативної ідентифікації перспективних матеріалів, внаслідок чого уможлиблюється створення більш ефективних та високопродуктивних мікросхем.

2. Оптимізація процесів. Моделювання виробничих операцій із використанням квантових рівнів опису створює підґрунтя для зменшення імовірності технологічних відхилень, сприяє підвищенню сукупної результативності виробничих систем.

3. Виявлення дефектів. Інструменти візуалізації, побудовані на квантових принципах, забезпечують можливість з високою точністю ідентифікувати мікроскопічні порушення структури матеріалів, що приводить до зростання частки придатної продукції у загальному обсязі випуску.

Розроблення напівпровідникових компонентів на сучасному етапі набуває стратегічного значення, у межах якого квантові обчислення посідають провідне місце, оскільки їх застосування відкриває нові технологічні можливості [219]:

- мініатюризація транзисторів - використання розвинених квантових моделей дає змогу створювати транзисторні структури нанорівня, що забезпечує зростання обчислювальної продуктивності за одночасного зниження енергоспоживання;

- удосконалення архітектури - квантові технології сприяють формуванню інноваційних архітектурних рішень, тривимірних інтегральних схем, нейроморфних процесорів, орієнтованих на обробку складних інформаційних потоків.

Завдяки цим досягненням з'являються високопродуктивні та енергоефективні чіпи, які можуть надавати підтримку сучасним технологіям, таким як штучний інтелект і Інтернет речей. Слід враховувати, що робота напівпровідникової промисловості тісно пов'язана з глобальними ланцюгами постачання, що робить їхню оптимізацію надзвичайно важливою. Квантові обчислення пропонують ефективні рішення в даному напрямку[219]:

- а) прогнозування попиту - застосування квантових алгоритмів забезпечує більш високу точність оцінювання ринкових тенденцій, моделей споживчої поведінки;

- б) управління запасами - використання квантових обчислювальних систем створює умови для раціонального формування складських запасів, скорочення ризиків дефіциту продукції або надмірного виробництва;

с) планування логістики - квантове моделювання сприяє визначенню оптимальних транспортних маршрутів, унаслідок чого зменшуються логістичні витрати, знижується імовірність затримок постачання.

Квантові комп'ютери забезпечують високу результативність розв'язання логістичних задач оптимізації операцій у межах ланцюжків постачання. Вони надають змогу здійснювати комплексний аналіз транспортних мереж, обсягів запасів, графіків поставок у режимі реального часу, що сприяє мінімізації витрат, підвищенню узгодженості операційних процесів. Такий інструментарій набуває особливої значущості для секторів електронної комерції, промислового виробництва, логістичних послуг. Гібридні обчислювальні системи створюють можливості інтеграції квантових рішень до наявних платформ управління ланцюжками постачання. У міру подальшого розвитку напівпровідникових квантових обчислень їх роль у формуванні майбутньої архітектури інноваційних рішень, промислових процесів послідовно зростатиме [220]

Квантові обчислення відкривають нові можливості для усунення критичних вразливостей у ланцюгах постачання напівпровідників[220]:

- дефіцит компонентів - використання квантових технологій дозволяє прогнозувати нестачу рідкісних матеріалів і запобігати їй завчасно;
- вузькі місця у дистрибуції - квантово-оптимізовані логістичні рішення допомагають скорочувати строки постачання та усувати проблеми у розподілі продукції;
- досягнення цілей сталого розвитку - завдяки квантовим алгоритмам можна зменшувати обсяги відходів і покращувати систему розподілу ресурсів, підвищуючи стійкість ланцюгів постачання.

Інтегрування квантових рішень у виробничі, логістичні процеси напівпровідникової галузі створює передумови для істотного скорочення витрат, зростання операційної результативності підприємств, формуючи нову фазу технологічного розвитку. У такій конфігурації квантові обчислення постають як стратегічний інструментарій глибинної перебудови

напівпровідникової промисловості. Їх застосування підсилює ефективність виробничих циклів, сприяє формуванню інноваційних архітектур мікросхем, підвищує узгодженість глобальних ланцюгів постачання. У площині матеріалознавства, проєктування та логістики квантові рішення створюють умови для подальшої мініатюризації транзисторів, зростання продуктивності чіпів, покращення енергетичних характеристик, підвищення стійкості систем постачання до зовнішніх збурень. Запровадження квантових технологій забезпечує не лише оптимізацію витрат, зменшення технологічних ризиків, але також формує основу довгострокового розвитку галузі, посилюючи спроможність підтримувати сучасні технологічні напрями штучний інтелект, Інтернет речей. За такого бачення квантові обчислення доцільно розглядати як визначальний чинник довготривалої конкурентної спроможності, технологічного лідерства у виробництві напівпровідників.

Безперервною динамікою розвитку всіх напрямів квантових технологій, що супроводжувалася виходом на ринок удосконалених і принципово нових рішень, заснованих на положеннях квантової механіки відзначилися 2023-2024 роки. Серед ключових тенденцій доцільно виокремити [221]:

1. Квантові обчислення. Провідні учасники ринку досягли істотного поступу у сфері квантової корекції помилок, що створює реальні передумови для формування великомасштабних відмовостійких квантових комп'ютерів. Зафіксовано рекордні показники точності кубітів: 99,5 % у дослідженнях QuEra спільно з MIT та Harvard, 99,9 % у розробках Microsoft разом із Quantinuum. Такі результати стали можливими завдяки впровадженню нових схем корекції помилок, інноваційних архітектур логічних кубітів. Перенесення основної уваги з виключно апаратних рішень на програмні та архітектурні механізми виявлення і виправлення помилок забезпечує суттєве скорочення апаратних витрат, зменшення кількості фізичних кубітів, необхідних для реалізації одного логічного кубіта, сприяє прискоренню розроблення універсальних відмовостійких квантових обчислювальних систем. Досягнення цих результатів стало можливим завдяки скоординованим

зусиллям академічних і корпоративних дослідницьких колективів — наукових груп Массачусетського технологічного інституту та Гарвардського університету у партнерстві з QuEra, а також команд Microsoft і Quantinuum, що відображає визначальну роль міждисциплінарної кооперації науки та індустрії у подоланні фундаментальних обмежень квантових обчислень [221].

2. Квантове зондування. Розробляються вдосконалені методи керування групами «твердотільних спинів» для різноманітних сенсорних застосувань. Дослідницька спільнота Massachusetts Institute of Technology запропонувала технологічне рішення, орієнтоване на істотне зростання чутливості квантових сенсорних систем. Напрямок квантового зондування, поряд із прикладними завданнями у сферах спостереження, візуалізації, навігаційного забезпечення та ідентифікації об'єктів, формує підґрунтя для підвищення ефективності широкого кола виробничих та інженерних процесів. Узагальнення результатів аналізу дає підстави стверджувати, що у середньостроковій та довгостроковій перспективі після 2030 року розвиток квантового зондування здатен суттєво трансформувати діяльність приватних секторів економіки, а саме нафтогазової, автомобільної та машинобудівної промисловості, аерокосмічного та оборонного напрямів, медичних технологій, медіа та індустрії розваг, справити відчутний вплив на практики державного управління [221].

3. Квантова комунікація. Триває підвищення продуктивності квантового розподілу ключів, що проявляється у збільшенні дальності та швидкості передачі даних завдяки інноваційним технологіям. Паралельно ведеться розробка платформ квантової пам'яті на базі захоплених іонів, рідкісноземельних іонів та атомних пар, реалізуються демонстраційні проекти квантових повторювачів із застосуванням захоплених іонів на телекомунікаційних довжинах хвиль [221].

За даними дослідження MarketsandMarkets, очікується, що до 2025 року обсяг ринку квантових точок досягне 10,6 млрд. дол. США, що обумовлено зростаючим попитом на дисплеї на квантових точках та сонячні елементи на

їх основі. За прогнозами до 2030 обсяг світового ринку квантових обчислень досягне 65 млрд. дол. США, при цьому компанії-виробники напівпровідників відіграють вирішальну роль у розвитку квантового обладнання. Найбільші світові виробники напівпровідників активно продовжують інвестувати у наукові дослідження та розробки з метою розкриття повного потенціалу квантових обчислень на базі напівпровідникових технологій. Така стратегія відображає довгострокову тенденцію формування глобальної конкуренції за лідерство у сфері квантових технологій, що матиме визначальний вплив на майбутній розвиток ринку[222].

Компанія IBM протягом багатьох років здійснює системну діяльність у сфері розвитку штучного інтелекту та квантових обчислень. Результатом цього процесу стало те, що компанія IBM першою у світі розмістила квантовий комп'ютер у хмарному середовищі ще у 2016 році. За офіційними даними компанії, їй належить Qiskit - найбільш поширене програмне забезпечення для квантових обчислень на глобальному рівні. У 2023 році компанія IBM передала клініці Клівленд штучний інтелект і перший квантовий комп'ютер, спеціально призначений для медичних досліджень, що засвідчило практичну інтеграцію та синергію квантових технологій і систем штучного інтелекту. Компанія IBM зосереджує свої розробки переважно на надпровідних квантових комп'ютерах, у конструкції яких використовуються наявні технології виробництва напівпровідникових кристалів.

Запропонована концепція забезпечує вищий рівень масштабованості технології у порівнянні з альтернативними рішеннями, однак передбачає необхідність використання спеціалізованої кріогенної інфраструктури. У межах зазначеної логіки особливої ваги набуває поняття квантової переваги, під яким розуміють момент, коли квантові обчислювальні пристрої починають перевищувати можливості класичних комп'ютерів під час розв'язання практично орієнтованих задач. Досягнення такої межі розглядається як переломний етап трансформації обчислювальної індустрії у напрямі повноцінного впровадження квантових технологій [223].

Компанія NVIDIA, що нині займає провідні позиції на глобальному ринку напівпровідникових чіпів для систем штучного інтелекту, активно інвестує у розвиток квантових обчислень. З метою подолання ключових технологічних бар'єрів квантових обчислень, а саме проблеми усунення обчислювальних помилок, компанія NVIDIA створює центр квантових досліджень, покликаний об'єднати науковців та галузевих експертів, включаючи фахівців Массачусетського технологічного інституту. Залучення провідних університетських науковців до корпоративних дослідницьких центрів відображає характерну для галузі модель, за якої фундаментальні наукові розробки та промислові ресурси об'єднуються в межах єдиних дослідницьких програм [223]. Компанія NVIDIA не займається розробкою квантового комп'ютера як окремого апаратного продукту (на кшталт компанії IBM), а зосереджується на інтеграції інструментів прискорених обчислень та штучного інтелекту у сферу квантових технологій. Такий підхід дає змогу уникнути значних витрат, пов'язаних із виробництвом квантових машин, і повторює успішну модель, застосовану компанією NVIDIA для затвердження лідерства у галузі ШІ[223].

Стратегія NVIDIA у сфері квантових технологій реалізується через цілеспрямовані фінансові вкладення в компанії, діяльність яких зосереджена на розробленні квантових обчислювальних систем. Одним із показових кроків стали інвестиції у Quantinuum - учасника ринку, що перебуває у конкурентних відносинах з IonQ та використовує іонні платформи для побудови квантових рішень. Така інвестиційна активність відображає прагнення NVIDIA розширити мережу технологічних партнерств і посилити власну присутність у сегменті квантових обчислень, інтегруючи їх у довгострокову стратегію розвитку обчислювальних технологій. Важливо зазначити, що наявний в компанії вільний грошовий потік (39,6 млрд. дол. США за першу половину фінансового року, який завершився 27 липня 2025 р.) забезпечує компанії NVIDIA фінансову гнучкість, необхідну для паралельного інвестування у розвиток технологій штучного інтелекту та квантових обчислень[223].

У стратегічній логіці розвитку IonQ центральним орієнтиром визначено прагнення посісти у сфері квантових обчислень позицію, співставну з тією, яку Nvidia займає у сегменті високопродуктивних графічних обчислювальних систем. У публічних заявах генерального директора Нікколо де Масі квантові технології постають не як допоміжний інструментарій, а як базова лінія довгострокової технологічної еволюції, здатна змінити усталені принципи формування глобальної цифрової інфраструктури та логіку побудови обчислювальних середовищ. Окреслена стратегічна перспектива зумовила розбудову власного портфеля квантових рішень, сформованого через результати внутрішніх наукових досліджень із використанням іонно-пасткових платформ як апаратного осердя. Обрана інженерно-технологічна парадигма істотно відмежовується від рішень, які застосовує IBM, адже іонні архітектури IonQ забезпечують роботу квантових процесорів за умов кімнатної температури без залучення складних кріогенних комплексів. Подібна апаратна організація посилює прикладну орієнтацію квантових машин, скорочує обсяги інфраструктурних витрат та спрощує інтеграцію квантових обчислювальних модулів у бізнесові та науково-дослідні середовища. Інтенсивність науково-технологічного розвитку компанії підтримується послідовною стратегією цільових придбань, спрямованих на розширення дослідницької бази, акумулювання інтелектуального капіталу та поглиблення спеціалізації у суміжних технологічних напрямках. У 2025 році суттєвий вплив на еволюцію IonQ мали експериментальні напрацювання, пов'язані з поєднанням квантових обчислювальних систем з алгоритмами штучного інтелекту, що сформувало підґрунтя для становлення гібридних обчислювальних моделей нового покоління. Отримані науково-практичні результати створили передумови для побудови обчислювальних моделей, здатних розв'язувати завдання, продуктивні межі яких виходять за рамки класичних архітектур, розширюючи горизонти застосування квантових технологій у різних секторах економіки та науки [223]. Незважаючи на наявність значних технологічних здобутків, компанія перебуває на етапі

фінансових втрат. У другому кварталі 2025 року обсяг продажів IonQ склав 20,7 млн. дол. США, що майже вдвічі перевищує аналогічний показник 2024 року (11,4 млн. дол. США). Однак операційні збитки зросли з 48,9 млн. дол. США до 160,6 млн дол. США, що пояснюється зростанням витрат, пов'язаних із реалізацією програм злиттів і поглинань. Проте компанія має ряд додаткових джерел фінансування: після розміщення акцій у липні 2025 року загальний обсяг грошових коштів, їхніх еквівалентів та інвестицій становив близько 1,6 млрд. дол. США[223].

На сучасному етапі квантовий комп'ютер IonQ на іонній платформі, надпровідні технології IBM та спеціалізовані розробки Nvidia формують комплексне середовище на перетині квантових обчислень та штучного інтелекту. Конкурентна взаємодія цих корпорацій у сфері створення більш потужних і енергоефективних систем має потенціал стати каталізатором технологічної революції, що докорінно змінить архітектуру та функціональність майбутніх інформаційних систем та напівпровідників.

Інтеграція спеціалізованих ШІ-чипів із квантовими обчислювальними системами розглядається як перспективний напрям розвитку, що має на меті подолання існуючих обмежень у сфері штучного інтелекту. Поєднання цих двох технологій створює синергійний ефект, завдяки якому з'являється можливість розробки нових архітектур обчислювальних систем, здатних вирішувати завдання, які ще донедавна вважалися принципово нерозв'язними. Мова йде про створення більш ефективних і потужних обчислювальних платформ, здатних вивести розвиток ШІ на якісно новий рівень[224]. Перспективи подальшого розвитку інтеграції ШІ-чипів та квантових технологій пов'язуються з удосконаленням алгоритмів машинного навчання, новими методами оптимізації та значним розширенням обчислювальних можливостей.

Квантова перевага формує основу для появи принципово нових напрямів практичного використання у різних галузях економіки, науки, управління. У фінансовому секторі квантові алгоритми застосовують для поглибленого

аналізу ризиків, ідентифікації шахрайських операцій, що потребують обробки складних багатовимірних даних. Висока обчислювальна спроможність квантових систем забезпечує опрацювання великих інформаційних масивів із швидкістю, недосяжною для класичних обчислювальних платформ, унаслідок чого зростає якість аналітичних висновків, управлінських рішень. У фармацевтичній галузі квантові обчислення відкривають можливості прискорення розроблення нових лікарських засобів через високоточне моделювання молекулярних взаємодій. Такий інструментарій сприяє скороченню термінів досліджень, зниженню витрат на експериментальні етапи, підвищенню результативності створення препаратів, що мають ключове значення для охорони здоров'я. Використання квантових технологій у логістиці створює умови для розв'язання складних оптимізаційних задач, пов'язаних із плануванням потоків, розподілом ресурсів, управлінням ланцюгами постачання. Підприємства отримують можливість мінімізувати витрати, підвищувати узгодженість операційних процесів, використовуючи розвинені інструменти прогнозування попиту, транспортних навантажень. Значний потенціал квантових обчислень простежується у сфері моделювання кліматичних процесів. Здатність таких систем працювати з великою кількістю взаємопов'язаних змінних, будувати складні прогностичні моделі погодних умов забезпечує глибше розуміння динаміки кліматичних змін, наслідків глобального потепління, що має вирішальне значення для формування довгострокових стратегій сталого розвитку [225].

Розгортання інтегрованих платформ, у межах яких поєднуються спеціалізовані мікросхеми для штучного інтелекту та квантові обчислювальні системи, потребує безпосередньої участі провідних виробників напівпровідників, що володіють сучасними технологічними рішеннями, масштабними виробничими ресурсами. Саме на базі інноваційно орієнтованих компаній, таких як GlobalFoundries та Snowcap Compute, відбувається практична реалізація нових архітектур обчислювальних систем, здатних втілювати концепції спінових кубітів, сумісні з ними процесорні рішення

нового покоління. Такі розробки формують технологічну основу для поєднання квантових підходів з високопродуктивними напівпровідниковими платформами. GlobalFoundries належить до багатонаціональних виробників напівпровідників та була заснована у 2009 році шляхом виокремлення виробничих підрозділів корпорації AMD. Ключові виробничі майданчики компанії розміщені у місті Мальта, штат Нью-Йорк, у Дрездені, Німеччина. Суттєвим напрямом діяльності GlobalFoundries виступає партнерська взаємодія з провідними розробниками квантових технологій, серед яких PsiQuantum, Equal1, Quantum Motion, Diraq, Archer, Xanadu. Така кооперація сприяє перенесенню квантових наукових концепцій у площину прикладних напівпровідникових рішень, створюючи підґрунтя для масштабування квантових обчислювальних систем на промисловому рівні.

Перші проєкти у цій галузі компанія зробила в 2018 р. та реалізовувалися вони спільно з Університетом Торонто[226]. Одним із перспективних напрямів квантових обчислень є реалізація спінових кубітів, які найбільш сумісні зі стандартними напівпровідниковими технологіями. Метод спінових кубітів застосовують компанії Equal1, Quantum Motion та Diraq. Для виробництва спінових кубітів GlobalFoundries може використовувати технологічний процес 22FDX, що передбачає 22-нанометрову кристалічну структуру кремнію на ізоляторі (FD-SOI) [227]. Цей процес не потребує створення нового обладнання для виготовлення спінових кубітів, хоча деякі конструкції можуть вимагати індивідуальних рішень, які відходять від традиційних правил проєктування напівпровідникових кристалів. Компанія розглядає можливість використання ізотопно-чистого кремнію-28 для збільшення часу когерентності кубітів, які не впливають на наявне обладнання та існуючий технологічний процес.

Одним із викликів при розробці КМОП-мікросхем, що працюють за низьких температур, є обмеження моделей процесу, які використовуються для моделювання конструкцій. Електричні характеристики КМОП-транзисторів при температурах близько 15 мілікельвінів суттєво відрізняються від

характеристик у типовому діапазоні 0-70 °C (273-343 K), що ускладнює моделювання та симуляцію пристроїв. Технологія 22FDX забезпечує наявність тильного з'єднання, що дозволяє регулювати граничну напругу транзистора (VT) та компенсувати відсутність точних моделей при низьких температурах. Цей процес придатний як для виготовлення спінових кубітів, так і для створення кріогенних мікросхем зчитування у квантових комп'ютерах. Виробництво процесу 22FDX здійснюється на фабриці GlobalFoundries у Дрездені, Німеччина [227].

Інший напрям діяльності компанії пов'язаний із фотонними кубітами у співпраці з PsiQuantum. Фотонні технології потребують спеціалізованих ресурсів, які були встановлені на фабриці GlobalFoundries на Мальті, штат Нью-Йорк, що потребувало інвестицій у кілька мільйонів доларів. У квітні 2022 року Міністерство оборони США виділило 25 млн. дол. США на підтримку партнерства між GlobalFoundries та PsiQuantum. Співпраця дозволила розробити індивідуальний виробничий процес для потреб PsiQuantum, одночасно вдосконаливши фотонні технології компанії та забезпечивши нові конкурентні переваги у цій галузі[227].

Застосування логіки Single Flux Quantum (SFQ) дає змогу суттєво знизити рівень енергоспоживання підсистем керування кубітами. Унаслідок зменшення рівня енергоспоживання відкривається перспектива інтеграції значно більшої кількості керувальних елементів у межах одного кріогенного холодильника. Паралельно з енергетичною оптимізацією скорочується тривалість обчислювальних циклів, що підвищує швидкодію квантових обчислювальних комплексів і розширює їх прикладний потенціал. У зазначеному напрямі інтенсивні науково-дослідні роботи проводить компанія SEEQC, яка нещодавно ініціювала співпрацю з IBM у межах програми DARPA, сфокусованої на завданнях квантового бенчмаркінгу. Окрему увагу до технологій SFQ виявляє і компанія D-Wave, інтегруючи відповідні рішення у власну траєкторію розвитку квантових обчислень.

Стартап Snowcap Compute, що реалізує принципово інший підхід, здатний вирішити проблеми масштабування квантових систем, з якими стикаються виробники квантового обладнання. Нещодавнє залучення 23 млн. дол.. США посівного венчурного фінансування дозволило компанії просувати інноваційне рішення[228]. Замість традиційної КМОП-логіки Snowcap обирає роботу з логічними елементами на основі переохолоджених джозефсонівських переходів, відомих як Single Flux Quantum (SFQ)[229]. За даним алгоритмом інформація кодується квантами магнітного потоку, а не струмом у транзисторі, в результаті чого забезпечується її ефективна робота при кріогенних температурах, підвищеної на 2-3 порядки енергоефективності та приблизно десятикратне збільшення швидкодії. Стартап Snowcap має понад десять років досвіду роботи з SFQ-логікою. Стартап Snowcap Compute пропонує технологічні рішення для квантових компаній, зацікавлених у подоланні обмежень, пов'язаних із масштабуванням кількості кубітів. Попри те, що кріогенна КМОП-електроніка розглядається як потенційний варіант, застосування SFQ надає відчутні переваги з позицій енергоефективності, обчислювальної продуктивності. Наявність 28-нм технологічного процесу, використання 300-міліметрових кремнієвих пластин, придатних для серійного виробництва, підтримка інструментів автоматизованого проектування від Cadence підтверджують промислову зрілість відповідних рішень. Основним сегментом застосування технологій компанії Snowcap виступають центри обробки даних, орієнтовані на задачі штучного інтелекту, проте зазначені рішення становлять інтерес також для розробників квантового обладнання з надпровідними, спіновими кубітами, що працюють за кріогенних температурних режимів.

Інтеграція квантового машинного навчання у робочі процеси проектування напівпровідників має значні наслідки для галузі [208-213].

1. Революція у сфері автоматизації проектування електроніки. Напівпровідникова промисловість значною мірою використовує інструменти автоматизації проектування електроніки (EDA) для керування складністю

сучасних інтегральних схем[230]. Сучасні робочі контури автоматизованого проєктування електроніки стикаються з проблемою обчислювальних «вузьких місць», зумовлених стрімким, фактично експоненційним зростанням складності схемних рішень на тлі поступового приросту потужностей класичних обчислювальних систем. У такій конфігурації квантове машинне навчання формує новий технологічний ресурс подолання зазначених обмежень завдяки притаманним йому алгоритмічним властивостям, які не відтворюються в межах традиційних підходів. Провідні розробники EDA-інструментів, таких як Synopsys, Cadence та Mentor Graphics, спрямовують значні інвестиційні ресурси на дослідження у сфері квантових обчислень з метою створення інструментарію проєктування наступного технологічного циклу. Пріоритет у межах таких інвестицій надається гібридним квантово-класичним алгоритмам, які можуть інтегруватися в наявні ланцюги проєктування без радикальної перебудови процесів, забезпечуючи квантове прискорення для обчислювально інтенсивних задач оптимізації. Ефект від упровадження таких рішень не обмежується приростом швидкодії. Він формує передумови для переходу до принципово інших методологій схемного проєктування, у межах яких стає можливим дослідження значно ширших просторів варіантів. Квантові алгоритми здатні оперувати масштабами комбінацій, недосяжними для класичних інструментів, що відкриває шлях до появи нових схемних архітектур та нетрадиційних стратегій оптимізації, які раніше залишалися поза практичним доступом.

2. Розвиток технологій виробничих процесів. Сфера застосування квантового машинного навчання не обмежується етапами логічного або фізичного проєктування мікросхем і поширюється безпосередньо на виробництво напівпровідників та налаштування технологічних маршрутів[232]. Сучасні напівпровідникові технологічні вузли формуються як складні виробничі ланцюги, що складаються з сотень тісно пов'язаних операцій, кожна з яких описується значною кількістю параметрів. Узгоджене керування такими параметрами стає визначальною умовою досягнення

високого виходу придатної продукції, відтворюваної продуктивності та тривалої експлуатаційної надійності електронних компонентів. За таких обставин традиційні інструменти оптимізації дедалі частіше виявляються обмеженими, оскільки вони недостатньо ефективні під час роботи з багатовимірними нелінійними просторами, притаманними сучасним напівпровідниковим процесам.

3. Динаміка ланцюга постачань та ринкового середовища. Упровадження квантового машинного навчання в контури розроблення напівпровідникових виробів створює передумови для глибоких змін у структурі ланцюгів постачання та механізмах конкурентної боротьби в галузі. Компанії, що досягли практичних результатів у застосуванні QML, здобувають суттєві переваги у скороченні термінів виведення продукції на ринок, підвищенні якості проєктних рішень та зменшенні сукупних витрат на дослідно-конструкторські роботи. Висока капіталомісткість напівпровідникової індустрії разом із тривалими циклами проєктування формують значні бар'єри входу для нових учасників, підвищують вартість переходу між технологічними платформами. За таких умов лідерські позиції у сфері квантових методологій проєктування перетворюються на визначальний чинник довгострокової конкурентоспроможності на глобальному ринку [233]. Перехід до процесів, зорієнтованих на використання квантових технологій, пов'язаний із необхідністю масштабних інвестицій у формування професійної експертизи, забезпечення доступу до квантового апаратного забезпечення та створення спеціалізованих програмних рішень. Подібні вимоги формують асиметрію можливостей між учасниками ринку, надаючи перевагу великим корпораціям із потужною фінансовою базою та розвиненою дослідницькою інфраструктурою. Паралельно виникають умови для розширення сегмента компаній, діяльність яких зосереджена на розробленні квантового програмного забезпечення для потреб напівпровідникової індустрії, що сприяє формуванню окремої ніші високоспеціалізованих технологічних постачальників [234].

Майбутні напрями інтеграції квантових технологій у напівпровідникове виробництво доцільно аналізувати із застосуванням багатогоризонтної логіки прогнозування, що передбачає розмежування очікуваних змін за часовими інтервалами короткої, середньої та віддаленої перспективи. Така структура аналізу дозволяє послідовно оцінити етапність упровадження квантових рішень, від ранніх експериментальних і прикладних сценаріїв до масштабних трансформацій виробничих процесів та індустріальних стандартів [235].

Короткострокова перспектива (3-5 років). На цьому етапі очікується поява пілотних прототипів, що реалізовуватимуться університетами, консорціумами та провідними виробниками напівпровідників для виконання дрібних завдань із застосуванням квантового прискорення, наприклад, у сфері розміщення та маршрутизації в обмежених конструкціях. Паралельно передбачається розробка ранніх версій інструментів автоматизованого проєктування (EDA), до яких інтегруватимуться квантові підпрограми, створювані як стартапами, так і провідними технологічними корпораціями. Важливим фактором стане активний розвиток компетентностей, що проявлятиметься у зростанні зацікавленості до синергії квантових та напівпровідникових технологій, появі нових навчальних програм, тренінгів і хакатонів[235].

Середньострокова перспектива (5-10 років). У цей період можливе поступове впровадження квантових рішень у практику завдяки демонстрації їхньої реальної ефективності, у вигляді скорочення часу або витрат на окремих етапах проєктування та виробництва. Передбачається поява апаратних платформ, що міститимуть кілька тисяч кубітів із досконалішими механізмами корекції помилок, що відкриє можливості для моделювання мікросхем середнього масштабу та розширеного аналізу виходу придатних виробів. На цьому етапі очікується і формування галузевих стандартів, коли спеціалізовані органи розроблятимуть найкращі практики проєктування з урахуванням квантових технологій, захисту інтелектуальної власності та інтеграції даних[235].

Довгострокова перспектива (10-20+ років). Прогнозується масова інтеграція квантових систем автоматизованого проєктування, де штучний інтелект із квантовим прискоренням стане повсякденною практикою у розробці інтерфейсів, компонуванні та управлінні технологічними процесами. Можливим стане впровадження інноваційних концепцій матеріалів і пристроїв, а саме архітектур транзисторів та пост-КМОП-парадигм (нових концептуальних підходів до проєктування обчислювальних пристроїв, що поступово заміщують класичну комплементарну метал-оксид-напівпровідникову технологію, включаючи спінтронні структури, тунельні польові транзистори TFET, мемристорні і фотонні інтегровані схеми, неморфні архітектури), відкритих за допомогою квантового моделювання, що надходитимуть у комерційне виробництво. На глобальному рівні передбачаються масштабні структурні зміни у напівпровідниковій галузі: країни та корпорації, які першими інтегрують квантові технології, отримають стійкі конкурентні переваги у сферах високопродуктивних обчислень, штучного інтелекту та виробництва передових мікросхем. Це, своєю чергою, зумовить трансформацію світових ланцюгів постачання електроніки.

3.2. Сценарне прогнозування структурної динаміки глобального ринку напівпровідників

Світовий ринок напівпровідників перебуває під впливом низки складних викликів, пов'язаних із активним упровадженням новітніх технологій, штучного інтелекту, Інтернету речей та машинного навчання. В найближчій перспективі напівпровідникова індустрія розвиватиметься за рахунок зростаючої потреби в електронних рішеннях у сегментах B2B, B2G та B2C. Розширення попиту на електроніку у різних сферах економіки створює передумови для підвищення обсягів виробництва, проте супроводжується низкою системних обмежень, серед яких провідне місце посідають питання

доступності продукції, її надійності та мініатюризації компонентів. Реагуючи на окреслені виклики, провідні компанії галузі спрямовують значні інвестиції на створення та вдосконалення напівпровідникових рішень, призначених для систем штучного інтелекту, що забезпечує впровадження інтелектуалізованих виробничих процесів і розвиток технологій автономного керування транспортом. Одночасно мікроелектронна індустрія зосереджує зусилля на розробленні енергоефективних компонентів нового покоління для бездротових і портативних електронних пристроїв, для яких визначальним є поєднання високої потужності з мінімальним енергоспоживанням. Важливу роль у структурі попиту на напівпровідникову продукцію посідає телекомунікаційна сфера, де широко використовуються силові напівпровідники, а саме транзистори типу IGBT, малопотужні перетворювачі, необхідні для надійного функціонування мобільних мереж та інфраструктури зв'язку стандарту 5G.

У площині напівпровідникових матеріалів фіксується поступ у використанні традиційних рішень на основі арсеніду галію, у впровадженні інноваційних матеріалів, серед яких нітрид алюмінію та вуглецеві нанотрубки. Разом із тим коефіцієнт завантаження виробничих потужностей залишається одним із ключових чинників, що впливають на фінансові результати прибуткових компаній галузі [236].

Нестабільність споживчого попиту та трансформація моделей купівельної поведінки безпосередньо впливають на фінансові результати компаній і перебудову їхніх операційних ланцюгів. У площині пропозиції напівпровідникова галузь зіштовхується з низкою системних обмежень, серед яких [236]:

- затримки у виконанні поставок;
- значна капіталомісткість виробничих проєктів;
- недостатня пропускна спроможність наявних потужностей;
- нестача окремих стратегічно важливих вузлів і комплектувальних елементів.

Сукупний тиск на ринок посилюється дією експортних регуляторних бар'єрів, зростанням ризиків кібератак і загостренням конкурентної боротьби на світовому рівні. Провідні представники напівпровідникового сектору, Navitas Semiconductor, Polymatech Electronics, ASE/SPIL, Amkor та інші компанії, відповідають на зазначені виклики через впровадження технологічних інновацій і розбудову довгострокових партнерських альянсів. У результаті галузь вступила в етап глибокої структурної перебудови в умовах прискореного технологічного розвитку та появи рішень нового покоління. Сегмент напівпровідникових пристроїв об'єднує широкий набір електронних компонентів, серед яких транзистори MOSFET, силові MOSFET, імпульсні джерела живлення та інші спеціалізовані елементи сучасної електроніки.

Натомість напрям напівпровідникових матеріалів зосереджується на виготовленні цифрових інтегральних мікросхем, спеціалізованих технологічних хімічних сполук, фотошаблонів та інших виробничих ресурсів, без яких неможливе сучасне мікроелектронне виробництво. Напівпровідникова галузь посідає центральне місце у формуванні нинішнього технологічного середовища та має ключове значення для підтримання довгострокової стабільності розвитку автомобільної індустрії, сектору побутової електроніки, інформаційних технологій і телекомунікацій, систем охорони здоров'я, аерокосмічної та оборонної промисловості.

У цілому світовий ринок напівпровідників рухається за висхідною траєкторією, що пояснюється зростаючим проникненням цифрових рішень у більшість галузей економіки. Провідну роль у формуванні попиту відіграють мережеві пристрої, технології штучного інтелекту та машинного навчання, масштабування центрів обробки даних та активне впровадження інтелектуальних технологічних платформ. Разом із цим темпи розширення виробничих можливостей не завжди синхронізуються зі швидкістю зростання споживання, унаслідок чого виникає напруження в ланцюгах постачання. Прагнення виробників задовольнити зростаючі ринкові потреби супроводжується подовженням строків виконання замовлень і підвищенням

імовірності зростання цін. Такі процеси можуть негативно відбиватися на показниках прибутковості компаній та зумовлювати збільшення фінансового навантаження на кінцевих споживачів, що потенційно впливає на рівень витрат домогосподарств на електронну продукцію [236].

У звіті IndustryARC «Ринок напівпровідників - прогноз (2024-2030)» зазначено, що до 2030 року світовий ринок напівпровідників сягне 990 млрд. дол. США за умови середньорічного зростання на рівні 7,1 % упродовж 2024-2030 років[237]. Прогнозне розширення ринку пов'язується з посиленням попиту на високотехнологічні електронні пристрої, розгортанням інфраструктури зв'язку п'ятого покоління та активним упровадженням рішень Інтернету речей (IoT). Серед провідних ринкових тенденцій виокремлюється інтенсивний прогрес у сфері чіпів для штучного інтелекту, які забезпечують реалізацію алгоритмів машинного навчання, обробку великих масивів даних і роботу автономних систем. Вагомий внесок у динаміку ринку здійснює автомобільна галузь, оскільки напівпровідникові компоненти є базовими елементами електромобілів, сучасних систем допомоги водієві (ADAS) та технологій зв'язку формату «автомобіль - усе» (V2X).

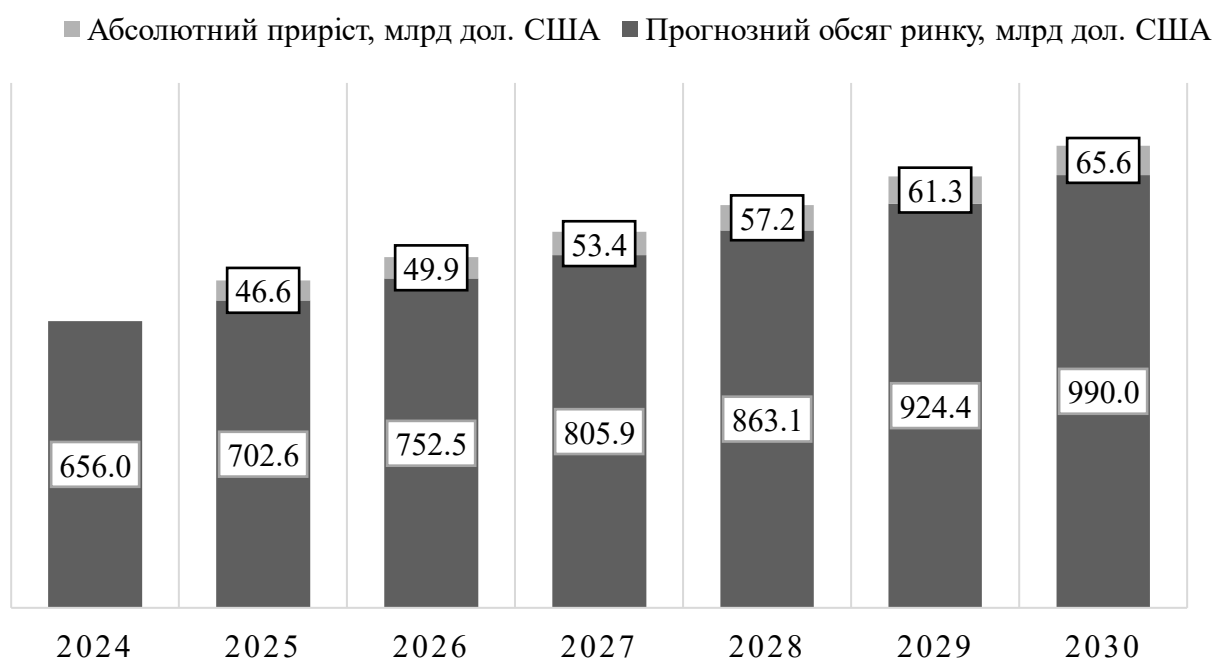


Рис. 3.1. Прогноз обсягу ринку напівпровідників до 2030 року за IndustryARC, млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [215]

Відповідно до прогнозу IndustryARC «Ринок напівпровідників - прогноз (2024-2030)», регіон Близького Сходу та Африки матиме найвищі темпи зростання у світовій напівпровідниковій індустрії із середньорічним показником 10,8 % у 2024-2030 роках[237]. Саудівська Аравія, Об'єднані Арабські Емірати та Південна Африка прискорено інтегрують інноваційні технології, Інтернет речей, штучний інтелект і мережі 5G, що формує стійкий попит на напівпровідникову продукцію. Державна політика країн регіону зосереджується на реалізації програм цифрової трансформації, включно з ініціативами «розумних міст» і проєктами промислової автоматизації, реалізація яких потребує використання складних напівпровідникових рішень. Паралельно з цим розширення мереж центрів обробки даних і впровадження відновлюваних джерел енергії стимулюють споживання мікросхем управління живленням та елементів пам'яті. У країнах Близького Сходу та Африки посилюється інтерес до розвитку локалізованого виробництва напівпровідників, що підтримується потоками прямих іноземних інвестицій і співпрацею з провідними глобальними технологічними корпораціями.

У відповідності до звіту «Global Semiconductor Market Size, Share, Industry Analysis Report By Component» від Market.US (розробленого Prudour Private Limited) [238] прогнозується збільшення обсягу світового ринку напівпровідників з 907,4 млрд. дол. США в 2025 році приблизно до 2010,6 млрд дол. США до 2034 року, за середньорічного темпу зростання 9,20% період із 2025 по 2034 рік.

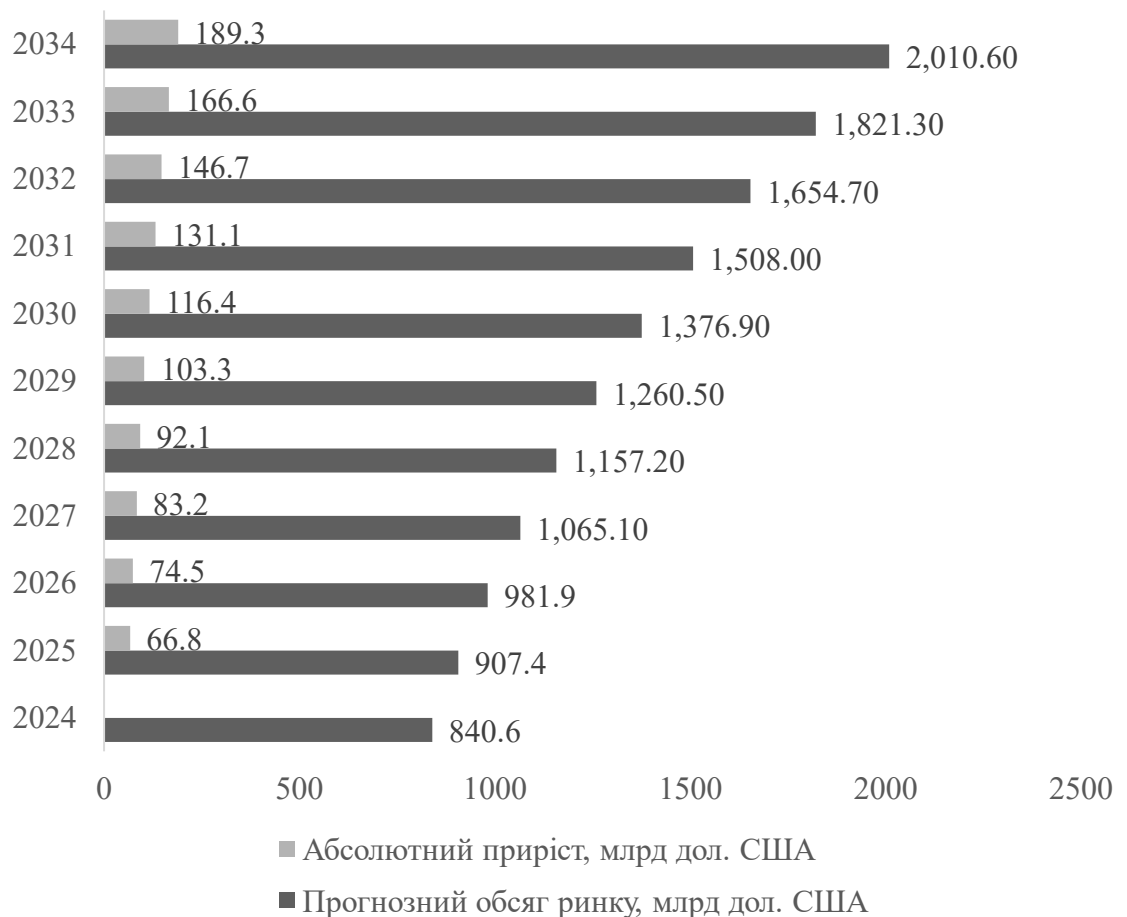


Рис. 3.2. Прогнозний обсяг ринку напівпровідників до 2034 року за Market.US, млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [216]

Найбільший приріст серед сегментів звіту «Global Semiconductor Market Size, Share, Industry Analysis Report By Component» від Market.US матимуть датчики (зростання обсягу з 35,6 млрд. дол. США в 2024 році до 160,6 млрд. дол. США в 2034 році за середньорічного темпу зростання в 16,48%) та інтегральні схеми (зростання із 700 млрд. дол. США в 2024 році до 1650 млрд. дол. США в 2034 році за середньорічного зростання в 8,96%).

Таблиця 3.1

Прогнозні обсяги ринку напівпровідників до 2034 року за Market.US за сегментами ринку, млрд. дол. США

Рік	Інтег- ральні схеми	Темп приросту, %	Дискретні напів- провідники	Темп приросту, %	Опто- елект- роніка	Темп приросту, %	Датчики	Темп приросту, %
2024	700		60		45		35,6	
2025	760	8,57	65	8,33	47	4,44	35,4	-0,56
2026	820	7,89	70	7,69	50	6,38	41,9	18,36
2027	885	7,93	75	7,14	55	10,00	50,1	19,57
2028	960	8,47	80	6,67	60	9,09	57,2	14,17
2029	1040	8,33	85	6,25	65	8,33	70,5	23,25
2030	1135	9,13	90	5,88	70	7,69	81,9	16,17
2031	1245	9,69	95	5,56	75	7,14	93	13,55
2032	1365	9,64	100	5,26	80	6,67	109,7	17,96
2033	1505	10,26	105	5,00	85	6,25	126,3	15,13
2034	1650	9,63	110	4,76	90	5,88	160,6	27,16
Середній приріст за 2024-2034 рр.		8,96		6,25		7,19		16,48

Джерело: складено автором за [216]

У звіті зазначено, що у довгостроковому періоді до 2034 року основний вектор зростання світового ринку напівпровідників визначатиметься розширенням попиту на споживчу електроніку, насамперед на смартфони, портативні комп'ютери та планшети. Поряд із цим активний розвиток хмарної інфраструктури, збільшення масштабів центрів обробки даних і впровадження рішень зі штучним інтелектом формують підвищену потребу у мікросхемах високої продуктивності, спроможних виконувати складні обчислювальні операції та забезпечувати швидку обробку великих масивів даних. Вагомий внесок у зростання попиту забезпечують автомобільні напрями застосування напівпровідникових виробів, сегмент електромобілів і систем допомоги водієві нового покоління. Паралельно розгортання мереж зв'язку п'ятого покоління, поширення інтелектуальних пристроїв широкого спектра призначення, розвиток технологій відновлюваної енергетики формують умови для подальшого розширення використання напівпровідникових компонентів у різних секторах економіки.



Рис. 3.3. Прогноз обсягу ринку напівпровідників Китаю у 2025-2034 рр., млрд дол. США

Джерело: складено автором за [216]

У звіті окремо підкреслюється, що китайський ринок напівпровідників посідає провідні позиції у світовому масштабі та зберігає високі темпи розширення, що пояснюється стійким внутрішнім попитом з боку виробників споживчої електроніки, автомобільної промисловості та операторів телекомунікаційної інфраструктури. Активне впровадження цифрових рішень, електрифікація транспорту та розбудова інфраструктури зв'язку формують постійну потребу в мікроелектронних компонентах різних класів складності. Проте попри провідні позиції за обсягами споживання напівпровідникової продукції, Китай зберігає істотну залежність від зовнішніх поставок, насамперед зі США та Тайваню.

У відповідь на таку ситуацію Китай спрямував значні фінансові ресурси на підтримку національних виробників, орієнтуючись на зниження

імпортозалежності та формування власної виробничої бази. Пріоритетами визначено нарощування інвестицій у науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи у сфері сучасних технологій виготовлення мікросхем, посилення внутрішніх компетенцій по всьому ланцюгу створення напівпровідникової продукції. Все це в підсумку має призвести до зростання обсягів ринку напівпровідників Китаю, який до 605,16 млрд. дол. США із середньорічним зростанням 8,6%.

Однак, згідно прогнозу PricewaterhouseCoopers (PwC) [156], у період 2025-2032 рр. питома вага Китаю в структурі виробництва напівпровідників в 2025-2032 рр. матиме тенденцію до зменшення із 24% в 2025 році до 22% в 2030 році та до 21% в 2032 році. Також зменшиться питома вага Тайваню із рівня в 18% в 2025 році до 17% в 2032 році. Питома вага США в структурі світового виробництва напівпровідників матиме тенденцію до зростання із частки в 11% в 2025 році до 14% в 2032 році.

В структурі світового виробництва напівпровідників підвищиться питома вага таких країн як Південна Корея 18% в 2025 році до 19% упродовж 2030 та 2032 рр., та країн Європи із 8% в 2025 році до 9% в 2032 році.

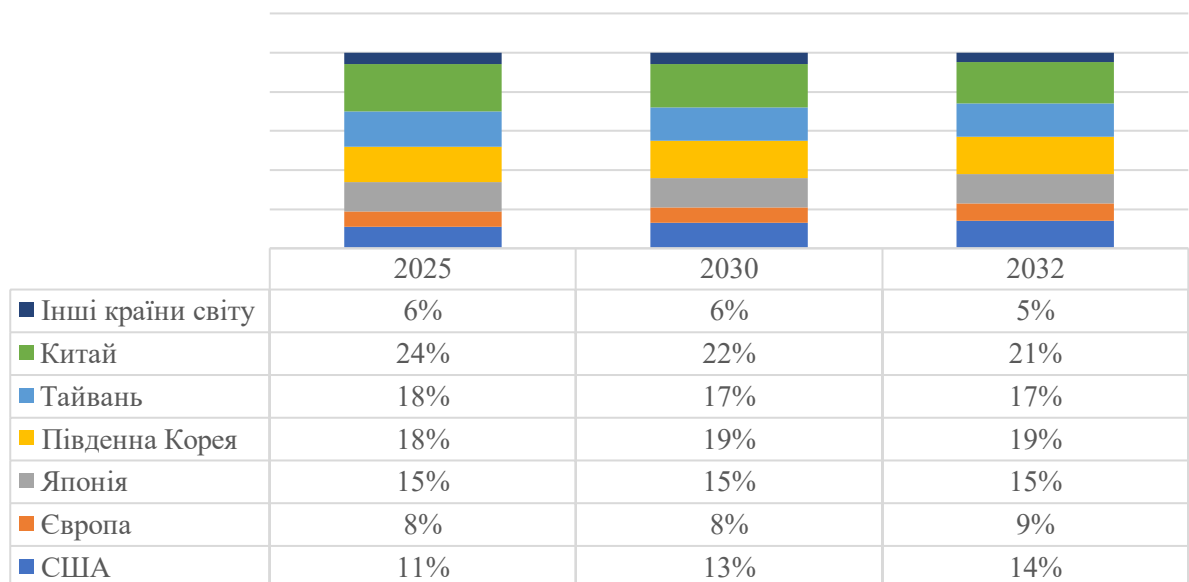


Рис 3.4. Прогноз регіональної структури виробництва напівпровідників в 2025-2032 рр., %

Джерело: складено автором за [144-146]

Виробники напівпровідників з Південної Кореї, перебуваючи в умовах жорсткої конкуренції з постачальниками з Тайваню та Китаю, розглядають ринок Сполучених Штатів Америки як потенційне джерело посилення власних конкурентних позицій. За збереження високого рівня невизначеності у відносинах зі США для компаній напівпровідникового сектору Південної Кореї ключового значення набувають дві базові змінні під час формування сценаріїв майбутнього розвитку: масштаб і тривалість дії американських тарифних обмежень, ступінь адаптивності глобального ланцюжка постачання напівпровідникової продукції. Сукупність цих чинників відображає поєднання зовнішнього регуляторного тиску та внутрішньої здатності бізнесу до структурної перебудови, формуючи основу стратегічних рішень корейських компаній [239].

Найбільш сприятливим варіантом розвитку подій вважається сценарій «відкритого шляху», за якого тарифні бар'єри з боку США усуваються внаслідок переговорних процесів, а глобальна система постачання напівпровідників трансформується у більш гнучку і взаємопов'язану модель. Така конфігурація створює передумови для розширення міжнародної кооперації та поглиблення партнерських відносин із постачальниками і споживачами в різних регіонах світу. У межах цього сценарію корейським виробникам доцільно посилювати вже наявні стратегічні позиції через розширення глобальних альянсів, підвищення ефективності виробничих і логістичних процесів та цілеспрямований розвиток бізнес-напрямів[240].

Інший можливий варіант розвитку - сценарій «хибного затишшя», за якого формальне скасування тарифів не супроводжується реальними змінами у структурі ланцюжків постачання, які залишаються жорсткими та надмірно зосередженими у вузькому колі регіонів. У такій ситуації короткострокове зростання прибутковості та обсягів продажу може створювати ілюзію стабільності, однак компаніям не варто обмежуватися поточними вигодами. Пріоритетом має залишатися підготовка до можливих майбутніх потрясінь і

порушень постачання шляхом безперервних інвестицій у підвищення стійкості ланцюжків та системну диверсифікацію ризиків.

Третій сценарій - «адаптивна диверсифікація», передбачає збереження тарифних обмежень за умов високої гнучкості глобального ланцюжка постачання. У такому середовищі корейським компаніям доцільно впроваджувати стратегії пом'якшення геополітичних ризиків через перегляд просторової організації виробництва та логістики. Ефективними заходами можуть стати перенесення окремих виробничих етапів до країн Південно-Східної Азії, розширення операцій з пакування та тестування у В'єтнамі та Індія, диверсифікація джерел постачання матеріалів із мінімізацією залежності від високо-ризикових напрямів, наприклад, Китай.

Найбільш несприятливим вважається сценарій «геополітичного глухого кута», за якого тарифний тиск посилюється, а глобальний торговельний порядок стане дедалі більш фрагментованим і підпорядкованим геополітичним інтересам окремих блоків. За таких умов компаніям необхідно локалізувати стратегії виходу на окремі ринки та вибудовувати відносини з клієнтами з урахуванням специфічних національних правил і регуляторних вимог. Операційна діяльність і корпоративні рішення мають узгоджуватися з параметрами відповідних торговельних блоків, беручи до уваги режими експортного контролю та політику державного субсидування. У цьому сценарії децентралізація має стати довгостроковою стратегією, яка потребуватиме постійних інвестицій у місцеве виробництво, упаковку та дотримання нормативних вимог[241].

Враховуючи нещодавні ринкові умови та зміни у політичній обстановці, найімовірнішим сценарієм для корейських компаній-виробників напівпровідників є «гнучка відповідь». Угода про 15% тарифів свідчить про те, що тарифи можуть зберігатися навіть між близькими союзниками, і тому сценарій гнучкої відповіді є найбільш правдоподібним. Хоча корейські напівпровідники, ймовірно, уникнуть 100% мита завдяки зобов'язанням США щодо режиму найбільшого сприяння (РНБ), конкретний рівень мит поки не

зрозумілий. У той же час країни Південно-Східної Азії швидко стають новими виробничими центрами, а США посилюють зусилля щодо перенесення виробничих потужностей із випуску напівпровідників у США з міркувань національної безпеки. На тлі цих змін глобальний ланцюжок поставок напівпровідників поступово стає гнучкішим.

Попри те що сценарій гнучкого реагування оцінюється як найбільш імовірний, варіант так званого хибного затишшя також залишається можливим. Незважаючи на наявну торговельну напругу, Сполучені Штати Америки зберігають суттєву залежність від напівпровідникової продукції з Південна Корея, насамперед у сегментах, що забезпечують розвиток технологій нового покоління, таких, як штучного інтелекту та високошвидкісної пам'яті НВМ. Хоча сукупні обсяги корейського експорту на американський ринок у першій половині поточного року скоротилися, постачання напівпровідників продемонстрували двозначні темпи приросту. Окрім того, з огляду на інтерес американської сторони до ініціатив уряду Південної Кореї щодо поглиблення співпраці у сфері напівпровідників, не можна відкидати можливість досягнення стратегічних і дипломатичних домовленостей, спрямованих на пом'якшення або перегляд митних обмежень.

Згідно з прогнозом PWC [242] світові доходи від напівпровідникової промисловості зростатимуть більш ніж удвічі швидше, ніж світовий ВВП, і до 2030 року досягнуть позначки 1 трлн. дол. США.

Починаючи з покоління НВМ4, кооперація між розробниками логічних мікросхем і виробниками пам'яті переходить у розряд обов'язкових умов розвитку галузі, оскільки процеси інтеграції обчислювальних і запам'ятовуючих компонентів посилюються. Зближення логіки та пам'яті змінює архітектуру мікросхем і підвищує вимоги до узгодженості технічних рішень, що змушує напівпровідникові компанії вибудовувати глибші та більш скоординовані формати співпраці з різними групами замовників. У таких умовах ринок очікує від учасників ланцюга створення вартості сумісності продуктів, спільного планування технологічних дорожніх карт, що

безпосередньо впливає на динаміку сегментів HBM і DRAM у середньостроковій перспективі.



Рис. 3.5. Прогноз світового ринку напівпровідників у 2020-2030 рр., млрд дол. США

Джерело: складено автором за [220]

Паралельно відбувається прискорена трансформація ринку автомобільних напівпровідників, зумовлена зростанням частки електромобілів і поширенням концепції програмно-визначуваних транспортних засобів (SDV). У 2023 році обсяг цього ринку сягнув пікового значення у 76 млрд. дол. США, після чого очікується подальше розширення до 117 млрд. дол. протягом наступних п'яти років за середньорічного темпу зростання 8,9%.

Таблиця 3.2

Прогноз структури світового ринку напівпровідників за типами компонентів у 2020-2030 рр., %

Рік	Мікросхем и пам'яті	Мікро- контролер и	Логічні мікросхем и	Аналогові напівпрові дники	Оптоелектроніка, сенсори та дискретні напівпровідники	Прогнозний обсяг ринку, млрд дол. США
2025	192	107	234	88	98	719
2026	222	113	251	93	104	783

2027	260	121	266	100	110	857
2028	279	129	277	107	116	908
2029	294	126	295	109	117	941
2030	317	131	317	114	122	1001
Темп приросту, %						
2026/2025	15,63	5,61	7,26	5,68	6,12	8,90
2027/2026	17,12	7,08	5,98	7,53	5,77	9,45
2028/2027	7,31	6,61	4,14	7,00	5,45	5,95
2029/2028	5,38	-2,33	6,50	1,87	0,86	3,63
2030/2029	7,82	3,97	7,46	4,59	4,27	6,38
Середньорічний темп зростання, %	10,65	4,19	6,27	5,33	4,50	6,86

Джерело: складено автором за [220]

Такі зміни пов'язані з ускладненням електронної архітектури автомобілів і зростанням ролі напівпровідників у керуванні ключовими функціями транспортних систем. Процеси електрифікації транспорту істотно підвищили попит на силові напівпровідникові компоненти, насамперед у складі інверторів, систем керування акумуляторами та інших вузлів електромобілів. На цьому тлі швидко зростає інтерес до широкозонних матеріалів, таких як карбід кремнію (SiC) та нітриду галію (GaN), які забезпечують вищу енергоефективність і кращі теплові характеристики порівняно з традиційними кремнієвими рішеннями. За наявними прогнозами, до 2028 року обсяг ринку таких пристроїв досягне 6 млрд дол. США, що відповідатиме приблизно 18% загального сегмента автомобільних силових напівпровідників.

Мікросхеми пам'яті були швидкою категорією напівпровідникових виробів за останні два десятиліття, при цьому особливо виділялися DRAM і HBM. HBM підвищує продуктивність додатків штучного інтелекту за рахунок високої пропускну здатності та низької затримки, як це видно на прикладі

графічних процесорів NVIDIA та AMD. Більш широкий ринок DRAM визначається вартістю та масштабованістю, у той час як HBM, через свої передові технологічні вимоги, є замкнутою екосистемою з високими бар'єрами для входу.

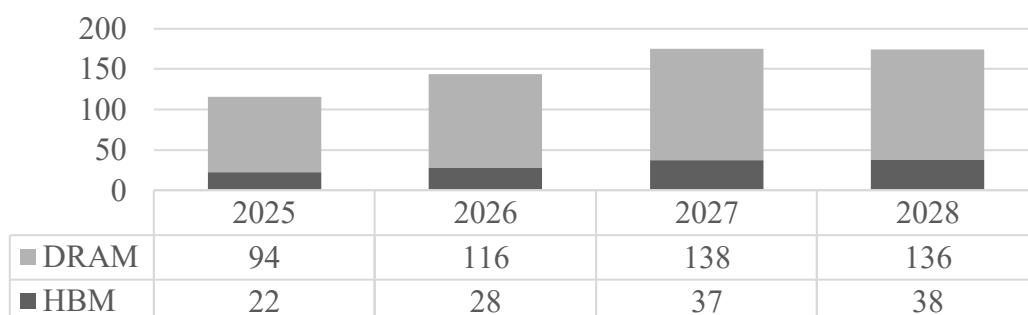


Рис. 3.6. Прогноз ринку HBM та DRAM на 2025-2028 роки, млрд. дол. США

Джерело: складено автором за [220]

Помітна трансформація спостерігається і в напрямі автомобільних систем на кристалі. У 2023 році обсяг доходів від реалізації SoC-рішень для потреб автопромисловості сягнув орієнтовно 7 млрд. дол. США, а впродовж періоду до 2028 року прогнозується зростання цього сегмента із середньорічним темпом близько 17 %.

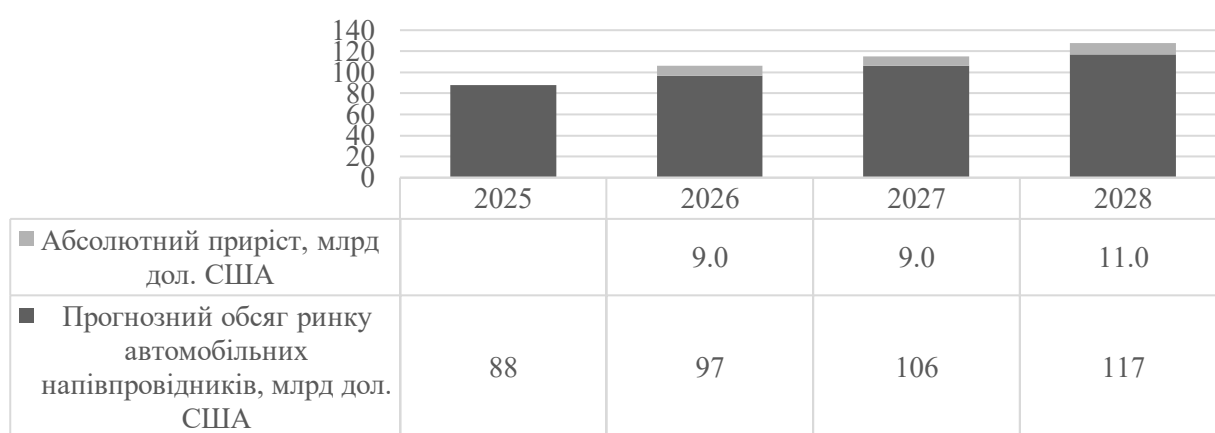


Рис. 3.7. Прогноз ринку автомобільних напівпровідників на 2025-2028 роки, млрд дол. США

Джерело: складено автором за [220]

Така траєкторія розвитку зумовлена зростанням значення високопродуктивних систем на кристалі у транспортних засобах малої вантажопідйомності, де вони забезпечують виконання обчислювальних операцій у режимі реального часу, координацію допоміжних функцій водіння, стабільну роботу інформаційно-розважальних комплексів. Поєднання зазначених процесів створює стійкі довгострокові передумови для подальшого нарощування масштабів ринку автомобільних напівпровідників у часовому горизонті до 2028 року.

Отже, узагальнимо досліджені прогнози щодо розвитку глобального ринку напівпровідників в три сценарії з урахуванням технологічних, інституційних, регіональних і ланцюгових чинників, кількісних прогнозів IndustryARC, Market.US та PwC.

Зазначений набір трьох сценаріїв безпосередньо узгоджується з результатами економіко-математичного моделювання, представленого у підрозділі 2.2 дисертації, у межах якого кількісні параметри потенційних економічних втрат - $VaR(95\%) = 198,8$ млрд. дол. США для інноваційно-інтеграційного сценарію, $388,5$ млрд. дол. США для сценарію адаптивної фрагментації та $VaR(99\%) = 717,6$ млрд. дол. США для сценарію геополітичного розриву - формують методологічну основу диференціації майбутніх траєкторій розвитку галузі. Подальша систематизація сценаріїв за технологічними, інституційними, регіональними та ланцюговими чинниками доповнює кількісні оцінки якісними характеристиками, що дозволяє побудувати цілісне сценарне передбачення динаміки глобального ринку напівпровідників до 2030 року.

Розгорнута порівняльна характеристика трьох сценаріїв за одинадцятьма параметрами (загальна характеристика, технологічний фокус, стан ланцюгів постачання, географічна структура виробництва, регуляторне середовище, цінова динаміка, інвестиційна активність тощо) представлена у додатку II.

Розглянемо дані сценарії більш детально.

1. Інноваційно-інтеграційний сценарій. Ринок розвиватиметься за траєкторією стійкого зростання, близькою до прогнозів IndustryARC і PwC, із досягненням обсягу близько 1 трлн. дол. США до 2030 року. Ключовою рисою стане синхронізація попиту та пропозиції через масштабні інвестиції у виробничі потужності, розвиток передових технічних процесів і поглиблення міжнародної кооперації. Масове впровадження III, машинного навчання, IoT, 5G та хмарних платформ формуватиме структурно стійкий попит у сегментах B2B, B2G і B2C. Прискориться перехід до енергоефективних і високопродуктивних мікросхем, включно з HBM, SoC, SiC та GaN. Відбуватиметься інтеграція логіки та пам'яті, що стимулюватиме спільне планування технологічних дорожніх карт між виробниками. Географічна структура виробництва стане більш збалансованою: зростатиме роль США, Південної Кореї та Європи за одночасного збереження значущості Китаю як ринку збуту. Отже, ринок напівпровідників зберігатиме середньорічні темпи зростання 6,5-7,5 %, напруження в ланцюгах постачання поступово знижуватиметься, а цінова динаміка залишається контрольованою.

2. Сценарій адаптивної фрагментації. Розвиток відбуватиметься в умовах збереження геополітичних та регуляторних обмежень, проте компанії компенсуватимуть їх шляхом гнучкої перебудови глобальних ланцюгів постачання. Зростання ринку триватиме, але супроводжується підвищеною волатильністю. Тарифні бар'єри та експортний контроль в період до 2030 року не усуваються повністю, що стимулюватиме регіоналізацію виробництва. Компанії продовжать перенос окремих етапів виробництва, пакування і тестування до Південно-Східної Азії, Індії, Близького Сходу та Африки. Зростаючий попит з боку автомобільної електрифікації, ADAS, центрів обробки даних і III підтримуватиме зростання навіть за умов структурних обмежень. Китай нарощуватиме внутрішні інвестиції, однак зберігатиме залежність від імпорту критичних технологій. Таким чином, світовий ринок досягне 950-1000 млрд дол. США до 2030 року, середньорічні темпи зростання

сповільнюються до 5,5-6,5 %, а ризики збоїв постачання та локальних дефіцитів зберігатимуться.

3. Сценарій геополітичного розриву. Ринок розвиватиметься в умовах глибокої фрагментації світової торгівлі, посилення тарифного тиску та формування ізолюваних технологічних блоків. За прогнозом до 2030 року посилюватиметься конкуренція між США, Китаєм та їх союзниками, що призведе до жорсткого експортного контролю і зниження трансферу технологій. Капіталомісткість виробництва та обмежена пропускна спроможність фабрик не дозволять швидко компенсувати втрати глобальної кооперації. Виникатимуть хронічні затримки постачань, зростатиме собівартість і фінансове навантаження на кінцевих споживачів. Інноваційні сегменти (HBM, передові SoC, SiC/GaN) концентруватимуться у вузькому колі країн, що обмежує масштабування. Отже, до 2030 року обсяг ринку не перевищить 850-900 млрд. дол. США, темпи зростання знижуватимуться до 4-5 %, а інвестиційна активність концентруватиметься в межах окремих геополітичних блоків.

Таким чином, світовий ринок напівпровідників до 2030 року перебуватиме в межах між керованим інноваційним зростанням і фрагментованою адаптацією, де ключовими змінними виступатимуть геополітична конфігурація, швидкість розширення виробничих потужностей та глибина міжнародної технологічної кооперації. Найбільш імовірним у середньостроковій перспективі залишається сценарій адаптивної фрагментації, який поєднує структурне зростання попиту з підвищеними системними ризиками.

Розширення горизонту прогнозування до 2050 року дозволяє звести розглянуті варіанти розвитку подій у цілісну систему із семи сценаріїв структурної динаміки глобального ринку напівпровідників: інноваційно-інтеграційного, адаптивної фрагментації, геополітичного розриву, «відкритого шляху», «хибного затишшя», адаптивної диверсифікації та «геополітичного глухого кута». Найбільш сприятливим і доцільним серед них

є сценарій «відкритого шляху», за якого тарифні бар'єри з боку Сполучених Штатів Америки усуваються внаслідок переговорних процесів, а глобальна система постачання напівпровідників трансформується у більш гнучку і взаємопов'язану модель. Натомість найбільші загрози для світового технологічного поступу несе сценарій «геополітичного глухого кута», зумовлений значним посиленням тарифного тиску на ринок напівпровідникової продукції, наростаючою фрагментацією глобального торговельного порядку та його підпорядкуванням геополітичним інтересам окремих блоків. Така система охоплює повний спектр можливих траєкторій, від поглиблення міжнародної технологічної кооперації до глибокої геоекономічної фрагментації, і дає змогу сформувати комплексне бачення довгострокових перспектив галузі.

3.3. Конкурентна диспозиція України на світовому ринку напівпровідників та стратегічні напрями її зміцнення

Україна у 2024-2025 роках здійснює кроки до всебічного оновлення власної технологічної основи. Паралельно з перегрупуванням міжнародних виробничих та логістичних ланцюгів у національному експертному середовищі дедалі частіше формується стратегічна ціль - забезпечити присутність на рівні 1 % на світовому ринку напівпровідникової продукції до 2035 року. Зазначений орієнтир сформовано з урахуванням обережних прогнозів, відповідно до яких глобальний обсяг ринку напівпровідників у середньостроковій перспективі може досягти позначки близько 1 трлн дол. США. Для держави, яка має значний науково-інженерний доробок та накопичений досвід у суміжних сферах (матеріалознавстві, інформаційних технологіях, кібернетичному захисті, інженерному програмуванні) окреслена мета поєднує високий рівень складності з реальними передумовами для практичного втілення.

Історично Україна вже посідала провідні позиції у надскладних технологічних сегментах європейського простору. Наприкінці 1960-х років традиційні методи проєктування та наявні на той час початкові системи автоматизації виявилися непридатними для створення великих інтегральних схем. У 1972-1973 роках на основі української суперЕОМ БЕСМ-6, інших обчислювальних машин, у Київському науково-дослідному інституті «Мікроприлад» була сформована принципово нова система автоматизованого проєктування, що дозволила скоротити цикл розробки складних кристалів до 1,5-2 місяців. Для реалізації такого прориву інженери-програмісти створили багатокомпонентний програмний комплекс, здатний автоматично з'єднувати сотні тисяч елементів ЛІС, усуваючи ризик помилок, неминучих при ручній роботі з подібними масштабами[243].

Паралельно у стислі строки було зведено чисті виробничі приміщення, налагоджено власні технологічні процеси виготовлення пластикових корпусів для логічних інтегральних кристалів, розроблено спеціалізоване метрологічне обладнання, яке не мало аналогів у регіоні. У 1974 році київський завод НВО «Кристал» першим не лише в Україні, а і на теренах колишнього СРСР та Європи опанував технологію метал-оксид-напівпровідник та розпочав серійний випуск МОП-транзисторів і виробів, створених на їх основі.

Найвищого рівня розвитку напівпровідникова галузь України досягла у період з середини 1970-х до кінця 1980-х років. У той час на її території працювало близько півтора десятка науково-дослідних інститутів та спеціалізованих підприємств мікроелектроніки, серед яких ключову роль відігравали «Кристал», «Мікропроцесор», «Родон», «Гравітон». Сукупна чисельність висококваліфікованих фахівців перевищувала 100 тисяч осіб. Щорічно створювалося приблизно 10 тисяч унікальних топологій мікросхем, майже половина з яких запускала у серійне виробництво. Річні обсяги випуску перевищували 200 млн. од. напівпровідникової продукції, сумарна вартість якої в перерахунку на тогочасні ціни сягала понад пів мільярда доларів США.

У період з середини 1970-х до кінця 1980-х років напівпровідниковий сектор отримував масштабну державну підтримку. Постанова уряду 1988 року передбачала зведення чотирнадцяти нових виробничих майданчиків у м. Борисполі, м. Києві, м. Запоріжжі, м. Херсоні та низці інших міст із метою налагодження випуску мікроелектронної продукції, здатної конкурувати на світовому рівні. За технічними параметрами Україна тоді поступалася провідним країнам лише на два етапи розвитку технологічного процесу, оскільки найсучаснішим стандартом залишалася норма 0,5 мікрона (500 нанометрів).

Станом на 1991 рік, коли припинив існування СРСР, ступінь готовності заводів у м. Борисполі та м. Івано-Франківську досягав приблизно 65 %. Проте перегляд державних пріоритетів разом із різким припиненням фінансування не дали змоги новоствореній незалежній державі реалізувати потенціал масштабної технологічної модернізації.

Упродовж 1990-х та 2000-х років значна частина накопичених напрацювань була втрачена або розпродана, а економічна політика країни зосередилася на аграрному секторі, металургії та експорті послуг у сфері ІТ-аутсорсингу. Попри це, саме галузі інформаційних технологій, кіберзахисту та інженерного проектування стали тими напрямками, де Україна здобула помітне міжнародне визнання. Десятки тисяч інженерів, програмістів і фахівців з аналізу даних інтегрувалися у глобальні виробничі та науково-технологічні процеси, виконуючи ключові функції для провідних транснаціональних компаній. Саме на такий людський і інтелектуальний ресурс сьогодні орієнтуються ініціатори формування нової української напівпровідникової екосистеми.

Світовий ринок напівпровідників зберігатиме динаміку зростання під впливом розвитку штучного інтелекту, мереж п'ятого покоління, електромобільного транспорту, Інтернету речей і квантових обчислювальних систем. Окреме місце в цьому процесі належить мікроелектроніці як базі для еволюції алгоритмів машинного навчання та обробки великих масивів даних.

Ключову роль у цьому сегменті відіграють спеціалізовані обчислювальні прискорювачі, передусім графічні процесори компанії Nvidia. Архітектури H100 та наступні покоління GPU, оптимізовані під тензорні обчислення, забезпечують рівень продуктивності, без якого неможливе навчання сучасних мовних моделей із сотнями мільярдів, а подекуди і трильйонами параметрів. Компанія зберігає домінування на ринку завдяки технологічному випередженню, що відображається як у масштабах капіталізації, так і в боротьбі за статус найдорожчої корпорації світу.

Розвиток штучного інтелекту прямо залежить від можливостей напівпровідникового виробництва. Кожна нова генерація мовних моделей потребує кратного зростання обчислювальних ресурсів. Для прикладу, навчання GPT-3 вимагало сотень тисяч GPU-годин: процес здійснювався із залученням обчислювальних потужностей Nvidia V100 і тривав близько ста днів. Для найновіших моделей масштаби споживання ресурсів істотно зросли.

Згідно з даними звіту Стенфордського університету Artificial Intelligence Index 2024, витрати OpenAI на навчання GPT-4 сягнули приблизно 3 млн дол. США, тоді як підготовка наступної версії, GPT-4.3, обійшлася компанії у ще значно більшу суму, що наочно підтверджує стрімке зростання вартості обчислювальної інфраструктури та залежність прогресу ШІ від розвитку напівпровідникових технологій.

Глобальне змагання у сфері штучного інтелекту формує небувалий тиск на виробничі потужності контрактних фабрик, насамперед на Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, яка намагається утримати першість у сегменті 3-нм та ще більш тонких технологічних норм. Зростання складності обчислювальних систем для ШІ призводить до радикального ускладнення технологічних процесів, що, у свою чергу, відкриває нові сегменти в напівпровідниковій екосистемі. У таких сегментах навіть порівняно невеликі компанії отримують шанс закріпитися у глобальних ланцюгах створення вартості, зосереджуючись на вузькоспеціалізованих рішеннях із високою доданою вартістю.

Порушення міжнародних логістичних маршрутів у період пандемії COVID-19 разом із загостренням геополітичних ризиків змусили провідні економіки світу переглянути підходи до організації виробництва мікроелектроніки. Країни світу дедалі активніше намагаються перенести окремі етапи виробничих циклів на власну територію, знижуючи залежність від обмеженої кількості регіональних центрів. Сполучені Штати Америки, Європейський Союз, Японія, Південна Корея та Індія вже реалізують масштабні програми фінансової підтримки, податкових стимулів і субсидій, спрямованих на розвиток напівпровідникового виробництва. У контексті таких трансформацій для України формується сприятливий часовий проміжок для входження у глобальний ринок. З метою визначення обсягів виробництва напівпровідникової галузі в Україні, визначимо напрямки діяльності згідно класифікації видів економічної діяльності (КВЕД-2010) яка представлена в додатку Р.

Проаналізуємо динаміку зазначених статей за період 2013-2024 рр. далі. В 2013 році обсяг виробництва електронних компонентів (КВЕД 26.11) становив 448,0 млн. грн.. У 2014 році зафіксовано зростання обсягів виробництва на 1,6% до 455,2 млн. грн.. В 2015 році спостерігалось скорочення виробництва на 2,8% до 442,6 млн. грн.. 2016 рік характеризується зростанням обсягів на 85,5% до 821,1 млн. грн., внаслідок відновлення виробничої активності та розширення ринків збуту. В 2017 році позитивна динаміка зберіглася на рівні 3% за якої обсяг виробництва збільшився до 845,6 млн. грн., що вказує на перехід до фази помірного зростання. У 2018 році виробництво електронних компонентів продовжило зростати на 5,7% досягнувши 893,6 млн. грн.. У 2019 році відбулося суттєве скорочення обсягу виробництва на 17% до 742,1 млн. грн.. У 2020 році обсяг виробництва скоротився на 7,1% до 689,6 млн. грн., що було пов'язано з глобальними економічними потрясіннями внаслідок пандемії COVID-19. В 2021 році обсяг виробництва знизився на 0,7% до 684,9 млн. грн.. У 2022 році обсяг виробництва зріс на 3,8% до 710,6 млн. грн.. В 2023 році тенденція до

зростання продовжилася і обсяг виробництва збільшився на 117,1% до 1 542,9 млн. грн.. Зростання виробництва електронних компонентів в 2023 році відбулося за рахунок масштабного розширення виробничих потужностей та активізацію попиту на електронні компоненти. В 2024 році обсяг виробництва зріс на 10% і досяг 1 697,9 млн. грн.. Загалом упродовж 2013-2024 рр. обсяг виробництва електронних компонентів зріс майже вчетверо, попри помітні коливання в окремі роки. Наочно цю динаміку відображено на рис. 3.8.

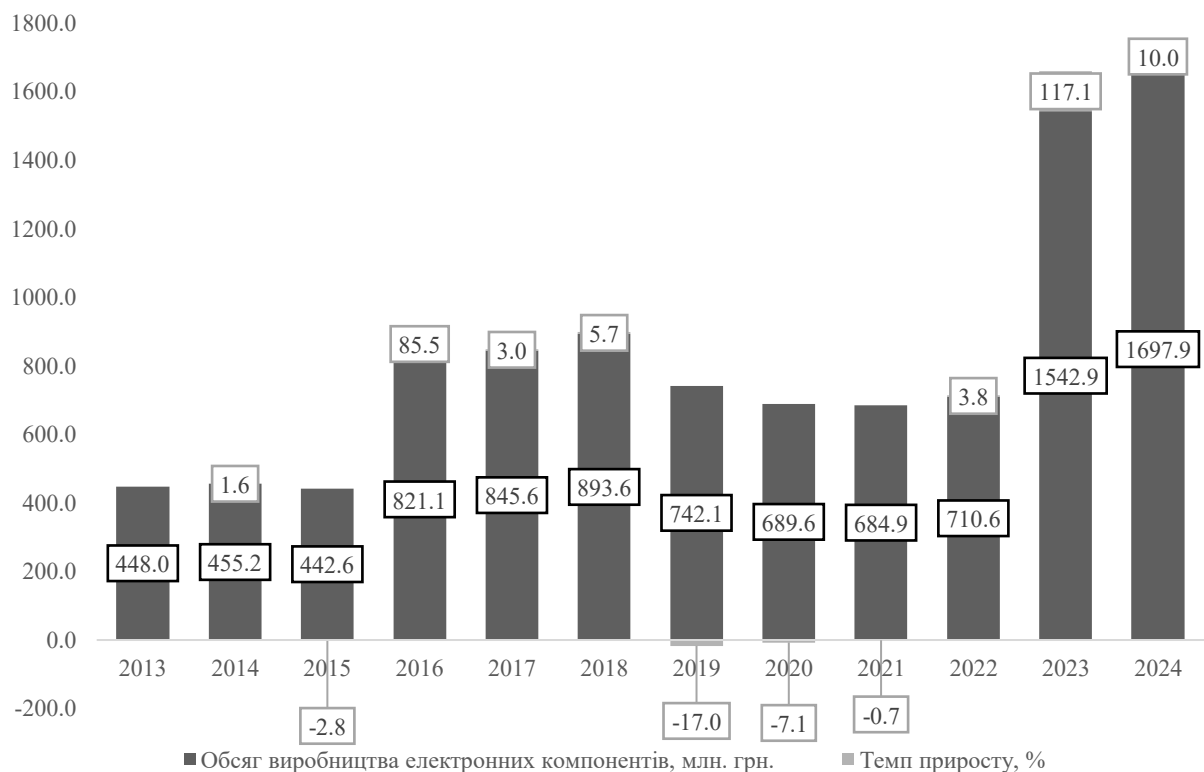


Рис. 3.8. Динаміка обсягу виробництва електронних компонентів в Україні в 2013-2024 рр., млн. грн.

Джерело: складено автором за [223]

На сучасному етапі в Україні збереглася діяльність лише обмеженої кількості підприємств мікроелектронного спрямування, робота яких підтримується переважно приватною ініціативою та технологічним заділом, сформованим у попередні десятиліття. Асортимент продукції, що випускається такими структурами, залишається вкрай вузьким. До числа діючих суб'єктів галузі належать ДП «Державне київське конструкторське

бюро «Луч», Центральне конструкторське бюро «Ритм», Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», ДП «Науково-дослідний інститут «Оріон», ТОВ «Радіонікс», Науково-виробничий комплекс «Фотоприлад»[248]. Для зазначених підприємств характерна наявність значного кола системних проблем, масштаб яких з плином часу зростає. Передусім вони зумовлені дефіцитом комплектувальних виробів подвійного призначення, браком належних технологічних умов і повноцінного наукового супроводу, необхідних для виконання виробничих і дослідницьких завдань. Паралельно відсутність сучасної технологічної бази істотно звужує можливості підготовки фахівців належного рівня, що посилює кадровий дефіцит у науковому та виробничому сегментах мікроелектронної галузі. Сукупність зазначених обставин зумовила втрату Україною позицій, які раніше забезпечували їй стійку присутність у сфері мікроелектроніки. Як наслідок, виробництво високотехнологічної продукції, включаючи продукцію оборонного призначення, опинилося у стані повної залежності від імпорту мікроелектронних компонентів.

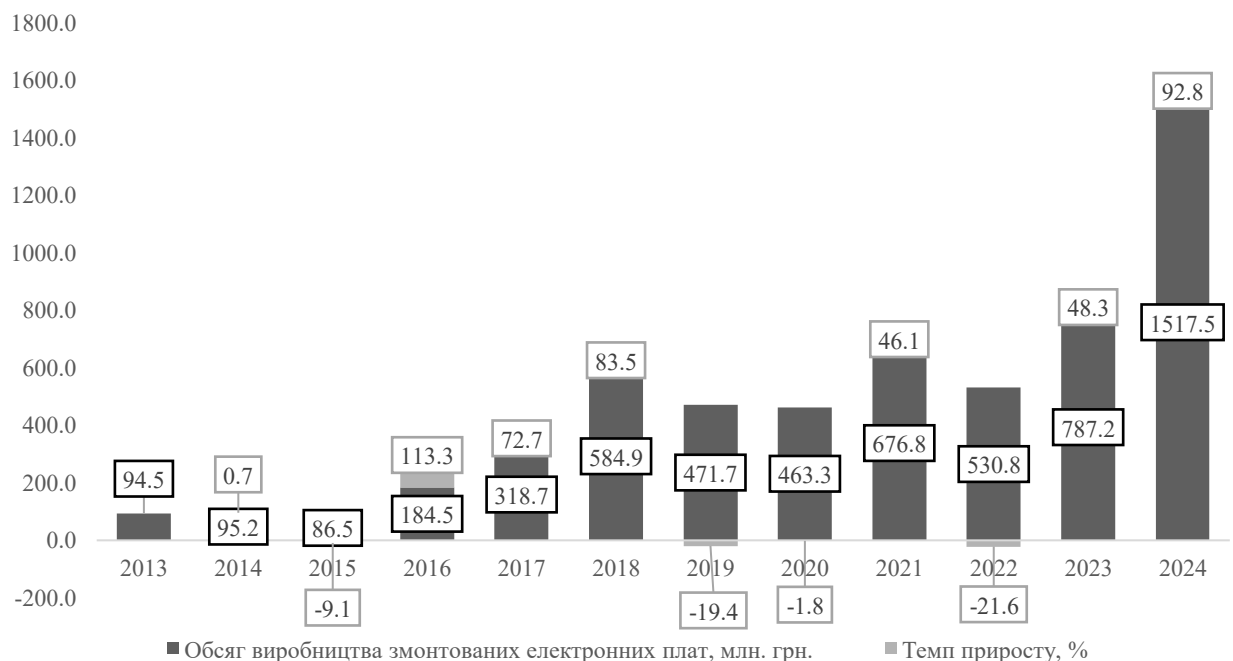


Рис. 3.9. Динаміка обсягу виробництва змонтованих електронних плат в Україні в 2013-2024 рр., млн. грн.

Джерело: складено автором за [223]

В 2014 році обсяг виробництва зріс на 0,7% до 95,2 млн. грн.. У 2015 році відбулося скорочення виробництва на 9,1% до 86,5 млн. грн., внаслідок погіршення зовнішніх і внутрішніх умов функціонування галузі. 2016 рік характеризувався початком зростання обсягів виробництва до 2019 року. Так в 2016 році обсяг виробництва змонтованих електронних плат зріс на 113,3% і становив 184,5 млн. грн., за рахунок зростання попиту та розширення виробничих потужностей. У 2017 році обсяг виробництва збільшився на 72,7% до 318,7 млн. грн. за рахунок подальшого нарощування масштабів виробництва. У 2018 році спостерігалось прискорення зростання на 83,5% до 584,9 млн. грн.. В 2019 році відбулося зниження обсягів виробництва змонтованих електронних плат на 19,4% до 471,7 млн. грн.. У 2020 році обсяг виробництва скоротився на 1,8% до 463,3 млн. грн.. У 2021 році відбулося зростання обсягу виробництва на 46,1% до 676,8 млн. грн.. Проте в 2022 році знову відбулося скорочення обсягів виробництва на 21,6% до 530,8 млн. грн.. У 2023 році виробництво змонтованих електронних плат збільшилося на 48,3% до 787,2 млн. грн., за рахунок відновлення попиту та адаптації виробників до нових умов. 2024 рік характеризується різким прискоренням розвитку сегмента: обсяг виробництва зріс на 92,8% до 1 517,5 млн. грн. внаслідок масштабного розширення виробничої діяльності та суттєвого підвищення ролі змонтованих електронних плат у структурі електронної промисловості[245].

Аналіз динаміки обсягів виробленої продукції (товарів, послуг) у сфері оптової торгівлі електронним і телекомунікаційним устаткуванням та деталями до нього у 2013-2024 роках засвідчує нерівномірний, хвилюподібний характер розвитку із чергуванням фаз скорочення, зростання та стабілізації (рис. 3.10). В 2013 році обсяг реалізованої продукції становив 1 198,9 млн. грн., проте в 2014 році відбулося скорочення на 13,6% до 1 035,9 млн. грн. У 2015 році тенденція до скорочення зберіглася - обсяг виробленої продукції знизився на 5,6% до 978,4 млн. грн..

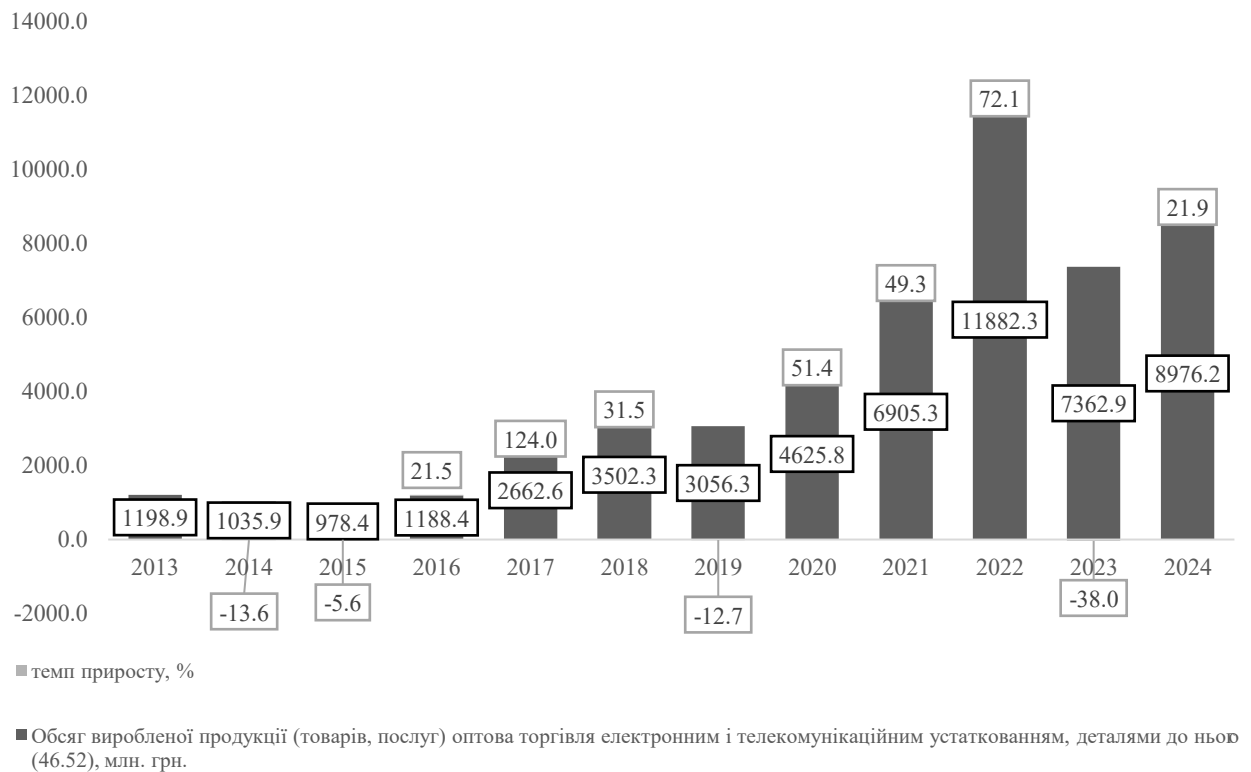


Рис. 3.10. Динаміка обсягів виробленої продукції (товарів, послуг) у сфері оптової торгівлі електронним і телекомунікаційним устаткуванням та деталями до нього в Україні у 2013-2024 роках, млн. грн.

Джерело: складено автором за [223]

Період 2016 року характеризується переходом до фази зростання: обсяг реалізації збільшився на 21,5% до 1188,4 млн. грн., що відображає поживавлення попиту на обладнання. Найбільше зростання відбулося у 2017 році, коли обсяг виробленої продукції зріс більш ніж на 124% до 2662,6 млн. грн.. Зростання показника в 2017 році відбулося за рахунок розширення ринку, зумовленого модернізацією та розвитком мобільного зв'язку, зростанням корпоративного попиту на електронні компоненти. У 2018 році позитивна динаміка зберіглася на рівні 31,5% за якого обсяг виробництва досяг 3502,3 млн. грн.. У 2019 році обсяг реалізованої продукції зменшився на 12,7% до 3056,3 млн. грн.. Починаючи з 2020 року, галузь увійшла у фазу прискореного зростання. Обсяг виробленої продукції в 2020 році збільшився на 51,4% до 4625,8 млн. грн.. У 2021 році обсяг зріс на 49,3% і досяг 6905,3 млн. грн., що

відображає різке зростання попиту в умовах цифровізації бізнесу та дистанційних форматів роботи. В 2022 році обсяг виробленої продукції (товарів, послуг) у сфері оптової торгівлі електронним і телекомунікаційним устаткуванням та деталями до нього зріс на 72,1% до 11882,3 млн. грн., що вказує на різке зростання потреби у обладнанні, мережевих рішеннях та електронних компонентах в умовах повномасштабної війни. У 2023 році відбулося зниження обсягів на 38% до 7362,9 млн. грн., внаслідок руйнування логістичних мереж та логістичних обмежень. У 2024 році відбулося зростання обсягу виробленої продукції на 21,9% до 8976,2 млн. грн., внаслідок часткової стабілізації ринку[245].

Враховуючи нестабільну динаміку розвитку ринку доцільно визначити основні виклики подальшого розвитку напівпровідникової галузі в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Виклики розвитку напівпровідникової галузі України

Виклик	Наслідки
1. Відсутність власних серійних виробництв	Обмежена здатність експортувати готові чипи Низька частка доданої вартості в глобальних ланцюгах Залежність від імпорту технологій і обладнання
2. Військові дії та порушення логістичних ланцюгів	Перебої у постачанні критичних газів і матеріалів (наприклад, неону), що впливає на стабільність світових ланцюгів постачання і може знижувати довіру міжнародних партнерів
3. Недостатнє фінансування досліджень та розробок (ДіР)	Затримки у розвитку передових технологій Слабка конкурентоспроможність Відтік талановитих фахівців за кордон
4. Низький рівень цифровізації виробництв	Неможливість швидкої адаптації до автоматизації та інтелектуальних технологій виробництва, що знижує привабливість для інвесторів
5. Геополітичні бар'єри та інвестиційні ризики	Зниження потоків прямих іноземних інвестицій Ризики зниження довгострокових проєктів у галузі
6. Конкуренція з технологічно розвиненими країнами	Важко конкурувати з масштабами виробництва та ДіР у США, США, Південній Кореї, Тайвані, що обмежує частку на ринку напівпровідників

Джерело: складено автором за [224; 225; 226]

Військова агресія росії серйозно вплинула на можливості виробництва та постачання електронних компонентів і матеріалів, що використовуються у напівпровідниковій галузі. Через війну постраждала інфраструктура, що призводить до ризику порушення поставок і логістичних ланцюгів для виробників і експортерів напівпровідникових матеріалів і компонентів [249]. Україна є ключовим постачальником газів та матеріалів, необхідних для виробництва напівпровідників (особливо неону, який використовується в кріогенно-лазерних процесах літографії). Переривання виробництва та експорту неону внаслідок бойових дій спричинило дефіцит на світових ринках, що посилює глобальну нестачу мікросхем.

Україна не має значних обсягів сучасного виробництва напівпровідників повного циклу, що суттєво відрізняє її від лідерів галузі — Тайваню, Південної Кореї та США. Спроби створити внутрішнє виробництво мікросхем стикаються з високою капітальною інтенсивністю, необхідністю величезних інвестицій і довготривалим циклом запуску, адже будівництво фабрик може займати роки й мільярди доларів [228]. Глобальний ринок напівпровідників характеризується дуже високими вимогами до технологій, стандартів і зниження розмірів норм виготовлення до нанометрового рівня. Україна має сильні наукові школи та значний потенціал у проєктуванні, проте реальний обсяг виробництва і технологічної бази є недостатнім для конкуренції зі світовими лідерами без значних інвестицій та кластерних екосистем [251].

В Україні обмежений рівень інвестицій у наукові дослідження, інноваційні розробки та технологічні стартапи у галузі мікроелектроніки. Відсутність сучасного обладнання та інфраструктури для високотехнологічного виробництва стримує розвиток і вихід на міжнародні ринки. Попри наявність висококваліфікованих інженерів і фахівців в університетах, відсутність умов для практичного застосування та комерційних проєктів призводить до відтоку талантів за кордон. Створення внутрішніх інноваційних середовищ і центрів досліджень та розробок є недостатнім, щоб повністю задовольнити потреби галузі [230]. Світовий ринок напівпровідників

дедалі більше концентрується навколо великих кластерів (Азія, США, Європа). Україна має слабку інтеграцію в ці ланцюги, що обмежує доступ до замовлень, інвестицій і стратегічних партнерств та зменшує можливості для експорту готової продукції [248].

Навіть досягнення частки на рівні одного відсотка світового обсягу потребує створення повноцінної та збалансованої екосистеми. Вона має поєднувати фундаментальні дослідження, інженерні розробки, проєктування мікросхем, їх виготовлення, корпусування, тестування та інтеграцію у міжнародні ланцюги постачання обладнання і матеріалів. Реалізація такого завдання передбачає залучення багатомільярдних інвестицій, формування тисяч висококваліфікованих робочих місць, модернізацію енергетичної, водної та транспортної інфраструктури, вибудовування стійких партнерств із провідними світовими гравцями галузі.

Розгортання власної напівпровідникової галузі має значення, що виходить далеко за межі економічних показників. З огляду на зростаючу роль високих технологій у сфері оборони та національної безпеки, наявність внутрішніх виробничих потужностей перетворюється на ключовий стратегічний ресурс. Можливість самостійного випуску критично важливих мікросхем для військових систем, засобів зв'язку, безпілотних платформ, радіолокаційних комплексів і захищених комунікаційних вузлів підсилює державну стійкість, зменшує технологічну залежність і створює основу для реального технологічного суверенітету.

Розбудова національних центрів проєктування апаратних компонентів, створення власних контурів верифікації та повноцінних лабораторій тестування мікросхем виступає інструментом зниження загроз, пов'язаних із апаратними «закладками», дефектною продукцією або прихованими технічними прогалинами. В умовах, коли інформаційна безпека перетворилася на простір невидимого протистояння, спроможність самостійно контролювати архітектуру напівпровідникових рішень набуває значення стратегічного вибору держави.

Реалізація амбітних орієнтирів неможлива без активного пошуку зовнішніх союзників. Партнерські зв'язки з Європейським Союзом та Сполученими Штатами Америки у межах технологічних альянсів, спільних фондів і програм підтримки виступають необхідною передумовою входження України до глобальних ланцюгів створення вартості у сфері мікроелектроніки.

Окремої уваги потребує внесок стартапів і малого підприємництва. Напівпровідникова галузь не обмежується великими заводами, її основу формують десятки інжинірингових компаній, сервісних структур із тестування, логістики спеціалізованих хімічних матеріалів, виробників підкладок, компонентів із рідкоземельних металів та іншої критичної продукції. Чим ширшим є спектр таких інноваційних учасників, тим вищою стає стійкість усієї галузевої системи до зовнішніх шоків і технологічних збоїв.

Досягнення частки на рівні одного відсотка світового ринку напівпровідників не належить до короткострокових завдань. Реалістичний горизонт такого результату вимірюється щонайменше десятиліттям узгоджених дій, залученням багатомільярдних інвестицій, наявністю послідовної політичної волі та продуманою дипломатичною лінією, здатною поєднати інтереси держави і глобальних партнерів. Потенційний ефект виправдовує масштаб зусиль: закріплення України серед помітних учасників світової напівпровідникової індустрії посилить її технологічний авторитет, сприятиме структурному оновленню економіки, зменшить залежність від зовнішніх чинників і підвищить вагу країни на міжнародній арені.

На сучасному етапі Міністерство цифрової трансформації України започаткувало та реалізує комплексну ініціативу - Стратегію розвитку цифрових інновацій до 2030 року WINWIN, у межах якої вже розгорнуто практичну роботу з відродження напівпровідникового напрямку. За координації міністерства працює спеціалізована експертна група, відповідальна за формування галузевої дорожньої карти, підготовку нормативно-правових змін для заохочення інвестицій і трансферу технологій,

за проведення первинних консультацій із потенційними міжнародними партнерами [253].

Ключові обмеження розвитку напівпровідникової галузі згідно Стратегії розвитку цифрових інновацій до 2030 року WINWIN зумовлені низкою системних чинників, серед яких провідне місце посідає:

- 1) недостатня інтенсивність науково-дослідної та дослідно-конструкторської діяльності;
- 2) стійка міграція висококваліфікованих кадрів;
- 3) дефіцит сучасної інфраструктури для підтримки високотехнологічних виробництв;
- 4) моральне та технологічне старіння елементної бази.

Суттєвий стримувальний вплив також справляє жорстка конкуренція на глобальному ринку напівпровідників, складність включення національних виробників до міжнародних ланцюгів створення вартості та обмежена місткість внутрішнього попиту на відповідну продукцію.

Разом із тим Україна володіє низкою конкурентних передумов для входження до зазначеного сектору, насамперед у вигляді розвиненого людського капіталу та накопиченого досвіду у сфері розроблення мікроелектронних рішень. Попри істотне скорочення наукового та виробничого потенціалу у попередні десятиліття, історично сформовані наукові школи, збережена освітня інфраструктура, наявність відповідних освітніх програм, таких як спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка» (раніше - «Мікроелектроніка»), підтверджують існування базових передумов для відновлення та подальшого розвитку напівпровідникової галузі.

Досягнення стратегічної мети, пов'язаної зі створенням сприятливих умов для розвитку напівпровідникових технологій, передбачається через реалізацію комплексу взаємопов'язаних завдань і заходів (рис. 3.11). Так, планується підготовка та внесення на розгляд проєкту спеціального закону, спрямованого на формування привабливого нормативно-правового

середовища для інвестування та розширення діяльності у сфері мікроелектроніки, включно із запровадженням стимулів для наукових досліджень і розробок.

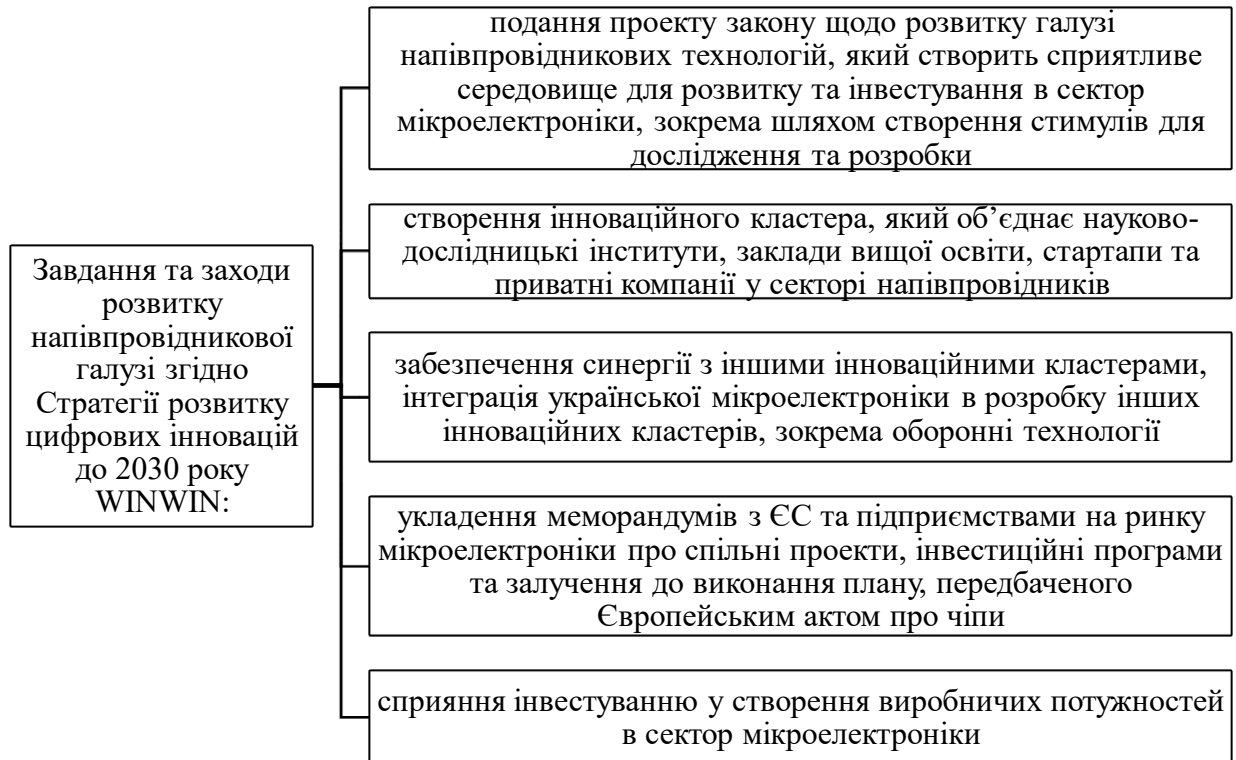


Рис. 3.11. Завдання та заходи розвитку напівпровідникової галузі згідно Стратегії розвитку цифрових інновацій до 2030 року WINWIN

Джерело: складено автором за [231]

Важливим напрямом визначено створення інноваційного кластера, покликаного об'єднати науково-дослідні установи, заклади вищої освіти, стартапи та приватні компанії, що працюють у сегменті напівпровідників. Окрему увагу передбачено приділити налагодженню взаємодії з іншими інноваційними кластерами та забезпеченню включення вітчизняної мікроелектроніки до розроблення міжгалузевих технологічних рішень, а саме у сфері оборонних технологій. Паралельно планується укладання меморандумів про співпрацю з інституціями Європейського Союзу та провідними підприємствами мікроелектронного ринку з метою реалізації спільних проектів, інвестиційних програм і участі у виконанні заходів,

передбачених Європейським актом про чіпи. Завершальним елементом комплексу заходів визначено стимулювання інвестицій у створення та розвиток виробничих потужностей у секторі мікроелектроніки на території України [253].

В рамках реалізації Стратегії розвитку цифрових інновацій до 2030 року WINWIN було ухвалено Постанову Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до Положення про Міністерство цифрової трансформації України» від 4 квітня 2025 р. № 386 [254]. У межах ухваленого рішення розширено коло повноважень Міністерства цифрової трансформації. Відтепер на зазначений орган покладається відповідальність за формування, координацію та реалізацію державної політики у сферах робототехніки, штучного інтелекту, безпілотних систем і напівпровідникових технологій. Запровадження відповідної постанови створює передумови для посилення технологічного суверенітету держави, активізації розвитку національного промислово-інноваційного потенціалу, формування сприятливого середовища для діяльності українських розробників. Окрему увагу приділено підтримці впровадження сучасних роботизованих та автономних рішень, здатних забезпечити практичний ефект у різних секторах економіки. Документ інтегрований у процес реалізації Стратегії цифрового розвитку інновацій України до 2030 року (WINWIN), передусім у частині розбудови напівпровідникової індустрії та створення внутрішньої інфраструктури для застосування рішень на основі штучного інтелекту. Очікувані зміни передбачають комплексне оновлення регуляторного середовища.

Планується запровадження фінансових інструментів підтримки компаній, що здійснюють діяльність у напрямках робототехніки, безпілотних технологій, штучного інтелекту та мікроелектроніки. Окремим напрямом визначено розвиток власного виробництва напівпровідників, у межах якого передбачається формування інноваційного кластера мікроелектроніки. Постанова передбачає масштабування використання рішень штучного інтелекту в Україні, наприклад, у системі публічного управління та секторі

безпеки, створення спеціалізованої платформи для оперативного виведення вітчизняних технологічних продуктів на внутрішній і зовнішні ринки.

Суттєвою складовою оновленої системи державного регулювання стане запровадження комплексних процедур перевірки та сертифікації інноваційних технологічних рішень. Планується формування спеціалізованої інфраструктури для проведення випробувань, практичної апробації та публічної презентації нових розробок, що забезпечить швидше впровадження результатів науково-технічної діяльності у реальний сектор економіки. У підсумковому вимірі реалізація відповідної постанови створює розширений простір для розроблення роботизованих і автономних систем, придатних для використання у виробничих процесах, щоденних суспільних практиках - від високотехнологічних медичних рішень до автономних транспортних комплексів. Поряд із цим нормативний акт сприятиме покращенню інвестиційної привабливості держави, активізації співпраці з міжнародними компаніями та стартапами, поступовій інтеграції національної інноваційної екосистеми до європейського простору цифрових і технологічних стандартів.

Таким чином, перспективи розвитку напівпровідникової галузі України формуються під впливом поєднання зовнішніх геоекономічних викликів, внутрішніх структурних обмежень, наявних конкурентних передумов враховуючи положення Стратегії цифрового розвитку інновацій України до 2030 року (WINWIN), що зумовлює необхідність вибору селективної та поетапної моделі галузевого розвитку.

Вагомим напрямом є спеціалізація у виробництві та постачанні критично важливих матеріалів і компонентів для напівпровідникової індустрії. Україна зберігає потенціал стратегічного постачальника спеціалізованих газів і матеріалів, передусім неону, що використовується у високоточних літографічних процесах. Подальший розвиток цього сегмента доцільно орієнтувати на поступовий перехід від сировинної моделі до більш технологічно складних форматів переробки, очищення, зберігання та

сервісного супроводу, що дозволить підвищити додану вартість і зміцнити позиції України у глобальних ланцюгах постачання.

З огляду на надзвичайно високу капітальну інтенсивність та тривалі строки створення сучасних виробничих заводів, економічно обґрунтованим є зосередження розвитку на початкових і проміжних сегментах ланцюга створення напівпровідникової продукції. Тут акцент повинен бути спрямований саме на розбудову напрямів проектування мікросхем, їх функціональної верифікації, тестування, корпусування, формування спеціалізованих центрів досліджень і розробок та інженерних сервісів. Така модель дозволить ефективно використовувати наявний людський капітал і наукові школи без негайного входження у найбільш ресурсомісткий етап front-end виробництва.

Ключовою умовою довгострокового поступу напівпровідникової індустрії виступає розбудова цілісної національної екосистеми у сфері мікроелектроніки. Її базисом має стати інноваційний кластер, у межах якого консолідуються заклади вищої освіти, науково-дослідні організації, технологічні стартапи та приватні компанії. Подібна кооперація сформує передумови для поетапного формування внутрішнього ланцюга доданої вартості, подолання технологічних дисбалансів і переведення результатів науково-технічних напрацювань у ринкові продукти.

Стратегічно важливим напрямом залишається поглиблення включення України до європейських і трансатлантичних виробничо-інноваційних ланцюгів у галузі мікроелектроніки. Реалізація відповідного вектору передбачає розширення партнерських зв'язків з державами ЄС та США, залучення до спільних інвестиційних, дослідницьких і технологічних програм, участь у ініціативах, визначених Європейським актом про чіпи. Така інтеграція створить можливості для доступу до фінансування, передових технологій і міжнародних ринків реалізації продукції.

Перспективним напрямом розвитку напівпровідникової галузі є розширення ролі стартапів і малого інноваційного підприємництва, що

формують гнучку та динамічну складову галузевої екосистеми. Йдеться про розвиток малих інжинірингових компаній, спеціалізованих сервісів із тестування та сертифікації мікросхем, логістики високочистих хімічних матеріалів і компонентів, підприємств, орієнтованих на нішеві технологічні рішення. Розширення такого сегмента сприятиме підвищенню стійкості галузі до зовнішніх шоків, зниженню бар'єрів входу для нових учасників і формуванню конкурентного середовища, здатного генерувати інновації.

Визначальною умовою реалізації стратегічних орієнтирів довгострокового розвитку напівпровідникової індустрії виступає інституційне зміцнення участі держави у формуванні галузевої політики. Впровадження Стратегії цифрових інновацій до 2030 року (WINWIN)[231], розширення функціонального мандата Міністерства цифрової трансформації України[254], підготовка спеціалізованої нормативно-правової бази, запровадження фінансових механізмів підтримки мікроелектроніки формують підґрунтя для створення прогнозованого та стабільного середовища, привабливого для інвесторів і технологічних компаній. Сукупність зазначених заходів забезпечує узгодженість рішень між органами державної влади, представниками бізнесу та науково-освітньою спільнотою.

Суттєвим напрямом подальшого розвитку галузі стає формування внутрішніх передумов для практичного використання науково-технічного потенціалу інженерів і дослідників. Створення сучасних лабораторних комплексів, центрів тестування, верифікації та сертифікації, разом із реалізацією прикладних дослідницьких програм, забезпечить тісний зв'язок між освітнім процесом і комерційно орієнтованими проєктами. Така модель сприятиме зменшенню відтоку висококваліфікованих фахівців за кордон, підвищенню привабливості науково-інженерної кар'єри в Україні та формуванню сталого кадрового фундаменту напівпровідникової галузі.

Місце України на світовому ринку напівпровідників визначається складним співвідношенням її можливостей та обмежень, яке доцільно розглядати в кількох площинах. Передусім країна володіє низкою потенційних

сильних сторін - кваліфікованими кадрами у STEM-сфері, розвиненою індустрією програмної інженерії та збереженим науковим доробком у фізиці, матеріалознавстві й електроніці; разом із залученістю до європейського технологічного простору та відносно доступною вартістю фахової праці це формує передумови для співпраці в межах міжнародних дослідницько-конструкторських ініціатив. Проте реалізація цього потенціалу стримується низкою системних чинників: галузь вирізняється надзвичайно високими капітальними витратами, основні виробничі потужності сконцентровано в державах Азіатсько-Тихоокеанського регіону, а технологічні бар'єри входу разом із наростанням гео економічної фрагментації ринку роблять практично недосяжним налагодження в Україні замкненого циклу серійного випуску напівпровідників у середньостроковій перспективі. З огляду на це найбільш досяжним шляхом долучення країни до глобальних ланцюгів створення вартості видається спеціалізація на стадіях проєктування та інжинірингу. Такий шлях передбачає розбудову інжинірингового аутсорсингу й дослідницько-розробницьких сервісів для зарубіжних замовників, інтеграцію українських компаній до екосистем електронного проєктування, а також державне сприяння інженерним кластерам і центрам компетенцій, що спеціалізуються на розробленні складних мікроархітектур, інтегрованих систем та чипів для рішень у сфері штучного інтелекту.

Досягнення частки на світовому ринку напівпровідників, навіть на рівні 1%, не може розглядатися як короткострокове завдання. Реалістичний горизонт такого результату вимірюється щонайменше десятиліттям послідовних і скоординованих дій, що передбачають залучення значних фінансових ресурсів, наявності стабільної політичної волі та системної міжнародної кооперації. Усвідомлення довгострокового характеру цього процесу є необхідною умовою формування адекватних стратегічних рішень.

Послідовне впровадження визначених напрямів розвитку напівпровідникової індустрії створить основу для масштабного оновлення технологічної архітектури економіки України. Поетапне нарощування

спроможностей у сферах проєктування, верифікації, випробувань, корпусування, виробництва стратегічно важливих матеріалів і компонентів відкриває можливості для відходу від переважно сировинної та аутсорсингової ролі у глобальних ланцюгах створення вартості та переходу до моделі, зорієнтованої на формування значної доданої вартості у сегменті мікроелектроніки. Розвиток власних компетенцій у напівпровідникових технологіях сприятиме зміцненню технологічної надійності держави, підвищенню її міжнародної ділової репутації як надійного партнера у високотехнологічних ланцюгах постачання та поступовому закріпленню позицій України у глобальній екосистемі напівпровідникової галузі.

Висновки до розділу 3

1. Квантова перевага виступає головним драйвером наступного етапу розвитку глобального ринку напівпровідників. За своєю сутністю вона означає здатність квантових обчислювальних систем виконувати окремі алгоритмічні операції з істотно меншими витратами часових, енергетичних або фінансових ресурсів порівняно з найефективнішими класичними алгоритмами на сучасних високопродуктивних платформах. Квантова перевага постає, відтак, фундаментом для високорозвинених обчислювальних систем нового покоління, які поступально відсувають межу технологічно досяжного у проєктуванні та виробництві напівпровідників і закладають передумови для перерозподілу інноваційних конкурентних переваг у світовій економіці.

2. Інтеграція квантового машинного навчання у процеси проєктування напівпровідників відкриває принципово нові можливості для розвитку галузі. Вона ґрунтується на застосуванні гібридних квантово-класичних алгоритмів, здатних долати обчислювальні обмеження традиційних інструментів автоматизованого проєктування. Завдяки цьому стає можливим узгоджене керування багатовимірними просторами параметрів сучасних технологічних вузлів безпосередньо у виробничому процесі. Економічний ефект такої

інтеграції виявляється у скороченні циклу проєктування, підвищенні якості технічних рішень та трансформації механізмів конкурентної боротьби, за якої асиметрія можливостей формується на користь корпорацій із потужною фінансовою базою та розвиненою дослідницькою інфраструктурою.

3. Інтеграція квантових технологій у напівпровідникове виробництво розгортається крізь призму багатогоризонтної моделі прогнозування, що охоплює кілька послідовних часових перспектив. Короткострокова перспектива пов'язана з появою пілотних прототипів та ранніх інструментів проєктування із квантовими підпрограмами. Середньострокова передбачає поступове впровадження квантових рішень, появу платформ з нарощеною кількістю кубітів і формування галузевих стандартів. Довгострокова перспектива означає масову інтеграцію квантових систем проєктування, впровадження інноваційних архітектур транзисторів і пост-КМОП-парадигм у комерційне виробництво. Така поетапність відображає логіку поступового визрівання квантово орієнтованої парадигми розвитку галузі.

4. Майбутня траєкторія глобального ринку напівпровідників на період до 2050 року розгалужується на низку альтернативних сценаріїв - інноваційно-інтеграційний, адаптивної фрагментації, геополітичного розриву, «відкритого шляху», «хибного затишшя», адаптивної диверсифікації та «геополітичного глухого кута». Зазначені сценарії варіюються від найбільш загрозливих, здатних уповільнити світовий технологічний поступ і навіть повернути його назад, до найбільш оптимістичних і сприятливих. Найбільш сприятливим серед них є сценарій «відкритого шляху», що передбачає усунення тарифних бар'єрів унаслідок переговорних процесів і трансформацію глобальної системи постачання у більш гнучку та взаємопов'язану модель. Натомість найбільші загрози для світового технологічного розвитку несе сценарій «геополітичного глухого кута», пов'язаний із посиленням тарифного тиску та наростаючою фрагментацією глобального торговельного порядку, тоді як найбільш імовірним у середньостроковій перспективі видається сценарій адаптивної фрагментації.

5. Конкурентна диспозиція України на світовому ринку напівпровідників має виразно дуалістичну природу. Її перший полюс утворює сукупність вагомих передумов для входження у цей сектор глобальної економіки - історично сформовані наукові школи у сфері мікроелектроніки, висококваліфікований людський капітал у природничо-технічних галузях та усталена спеціалізація у виробництві критичних матеріалів. Другий полюс окреслюють системні обмеження - брак серійних виробничих потужностей, недостатнє фінансування дослідно-конструкторських робіт, інфраструктурний дефіцит, вплив кваліфікованих кадрів та обмежена місткість внутрішнього попиту. Саме внутрішня суперечність між цими полюсами визначає сучасну позицію держави у галузі: наявний потенціал не трансформується автоматично в реальну ринкову присутність, а можливість реалізації національних економічних інтересів на цьому сегменті світового ринку залишається лімітованою об'єктивними структурними бар'єрами.

6. Адекватною відповіддю на суперечливу диспозицію України виступає селективна, а не фронтальна модель інтеграції держави у глобальний напівпровідниковий ланцюг. Селективність такої моделі продиктована об'єктивною неспроможністю розгорнути повний виробничий цикл і нагальною потребою сфокусувати обмежені ресурси на найбільш перспективних ланках. Її змістовим осердям є ідентифікація тих ланок ланцюга створення доданої вартості, що найповніше відповідають національним можливостям, - насамперед етапів дизайну та інжинірингу, які вирізняються високою інтелектуаломісткістю за порівняно помірних капітальних вимог. Пріоритетними напрямками входження на цих етапах постають розвиток інжинірингового аутсорсингу та досліджень для міжнародних компаній, інкорпорація вітчизняних команд в екосистеми електронного проектування та формування інженерних кластерів, орієнтованих на вбудовані системи й чипи для застосувань штучного інтелекту. Реалізація такої моделі супроводжується і потенційними загрозами - звуженням простору для повноцінної реалізації національних інтересів

унаслідок високої капіталомісткості галузі, технологічних бар'єрів входу та поглиблення геоекономічної фрагментації світового ринку.

Результати дослідження в рамках розділу 3 представлено в публікаціях здобувача [182], [183].

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено важливе наукове завдання щодо обґрунтування теоретико-методологічних засад дослідження конкурентної взаємодії на глобальному ринку напівпровідників.

1. Високотехнологічний сектор формує ядро постіндустріальної моделі світового господарства, у якій знання, інновації та цифрові технології постають визначальними чинниками створення доданої вартості й міжнародної конкурентоспроможності. Цілісне осмислення цього сектору вибудовується на синтезі взаємодоповнювальних дослідницьких традицій - теорії інноваційної динаміки, концепцій економіки знань і цифрової трансформації та аналітики глобальних вартісних ланцюгів. У координатах такого підходу напівпровідникова індустрія постає системоутворювальною ланкою глобальної технологічної екосистеми, що визначає механізми відтворення технологічного лідерства держав і корпорацій та конфігурацію геоекономічної влади.

2. Розвиток напівпровідникової індустрії підпорядкований взаємодії технологічних, економічних, інституційних, ресурсних і геополітичних чинників, синергія яких спрямовує галузь до інноваційно орієнтованої моделі, заснованої на технологічному суверенітеті, диверсифікації ланцюгів вартості та адаптивності до зовнішніх шоків. Історична логіка цього розвитку розкривається через послідовну зміну еволюційних етапів галузі, кожен з яких вирізнявся власним технологічним укладом і моделлю організації виробництва. Сучасний когнітивно-алгоритмічний етап якісно вирізняється з-поміж попередніх, оскільки конкуренція дедалі більше переноситься у площину штучного інтелекту та високопродуктивних обчислень.

3. Глобальний ринок напівпровідників функціонує як мережева система щільно взаємопов'язаних учасників - транснаціональних корпорацій, постачальників, дослідницьких установ, регуляторів і споживачів, - об'єднаних спільним процесом створення доданої вартості. Така мережева

архітектоніка зумовлює подвійну природу галузі: вона забезпечує синергію інновацій та ефект масштабу і водночас породжує системну вразливість, за якої локальні збої здатні каскадно поширюватися всім ланцюгом. Консолідаційні процеси та поглиблення міжсегментних залежностей посилюють концентрацію технологічної влади і визначають структурну стійкість галузі.

4. Сучасна динаміка світового ринку напівпровідників засвідчує послідовний демонтаж усталеної центрально-периферійної моделі та її поступову трансформацію у поліцентричну конфігурацію технологічної влади. Рушієм цього процесу виступає висхідна траєкторія країн Азіатсько-Тихоокеанського регіону, які нарощують власні науково-технологічні компетенції та претендують на провідні позиції у ключових ланках галузі. Реконфігурація конкурентного простору супроводжується активізацією державної промислової політики та посиленням технологічного протекціонізму, що перетворює саме суперництво держав на визначальний чинник галузевого розвитку. У результаті конкурентна структура ринку набуває дедалі виразніших рис гео економічної багатополюсності, а боротьба за контроль над критичними сегментами ланцюга створення вартості неухильно загострюється.

5. Конкурентна диспозиція суб'єктів глобального ринку напівпровідників визначається надзвичайно високим рівнем його монополізації та олігополістичним характером ключових сегментів, що віддзеркалюють концентрацію науково-технологічної влади у вузькому колі провідних багатонаціональних фірм. Така структура водночас підтверджує технологічне лідерство окремих держав і формує підвищену чутливість галузі до зовнішніх збурень. Зasadничою умовою балансування попиту і пропозиції залишається міжнародна виробнича кооперація, поглиблення якої знижує системні ризики, тоді як її згортання здатне спричинити масштабні економічні втрати для всієї галузі та її стейкхолдерів.

6. Стратегічна взаємодія суб'єктів світового ринку напівпровідників розгортається у межах співіснування інтегрованої, безфабричної та комбінованої моделей організації виробництва, на тлі зростання ролі держави як активного учасника галузевої конкуренції. Національні програми підтримки напівпровідникового сектору перетворюються на самостійний чинник конкурентної боротьби, спрямований на локалізацію виробництв та зміцнення технологічного суверенітету. Водночас злиття і поглинання виконують подвійну функцію, виступаючи механізмом нагромадження капіталу й технологічних компетенцій та засобом вирівнювання структурних диспропорцій у світових мережах постачання.

7. Квантова перевага визначається як детермінанта наступного етапу розвитку глобального ринку напівпровідників, що зміщує межу технологічно можливого у проєктуванні та виробництві мікроелектроніки. Інтеграція квантових технологій у галузь має поетапний характер: вона розгортається від обмеженого застосування у вузькоспеціалізованих інженерних сферах через стандартизацію технічних рішень до системної трансформації проєктних та виробничих процесів на засадах квантово орієнтованої парадигми. Наслідком цього руху стає формування асиметрії конкурентних можливостей на користь учасників із розвиненою фінансовою та дослідницькою базою, що здатне докорінно змінити конфігурацію глобального технологічного лідерства та перерозподілити інноваційну ренту у світовій економіці.

8. Майбутня структурна динаміка глобального ринку напівпровідників позначена високою невизначеністю та окреслюється широким спектром альтернативних сценаріїв - від украй песимістичних, які загрожують гальмуванням світового технологічного поступу, до найбільш сприятливих, що ґрунтуються на відкритості та поглибленні міжнародної кооперації. Найбільш сприятливою для світового технологічного розвитку є траєкторія усунення торговельних бар'єрів і формування гнучкої та взаємопов'язаної системи постачання, тоді як найбільші ризики пов'язані з фрагментацією глобального торговельного порядку. Найбільш імовірним у середньостроковій

перспективі залишається сценарій, що поєднує структурне зростання попиту з підвищеними системними ризиками тарифних і регуляторних обмежень.

9. Конкурентна диспозиція України на світовому ринку напівпровідників позначена внутрішньою двоїстістю, що поєднує вагомі передумови для входження у галузь із не менш відчутними системними обмеженнями, які унеможливлюють розгортання повного виробничого циклу. Ця двоїстість легітимізує селективну, а не фронтальну стратегію інтеграції держави у глобальні ланцюги створення вартості з пріоритетним зосередженням на інтелектуаломістких етапах дизайну та інжинірингу. Обраний вектор відкриває перед Україною перспективи розвитку інжинірингового аутсорсингу, кристалізації спеціалізованих інженерних кластерів і поглиблення інтеграції у європейський технологічний простір, що у своїй сукупності здатне поступово зміцнити її конкурентні позиції на стратегічно вагомому сегменті світової економіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Postindustrialism and the Long Arts And Crafts Movement: between Britain, India, and the United States of America. URL: <https://britishartstudies.ac.uk/issues/issue-index/issue-15/postindustrialism-and-the-long-arts-andcrafts-movement> (дата звернення: 24.04.2024).
2. Toffler A. The Third Wave. New York: William Morrow and Company, 1980. 544 p. ISBN 978-0-517-32719-4.
3. Touraine A. The Post-Industrial Society. Tomorrow's Social History: Classes, Conflicts and Culture in the Programmed Society. New York: Random House, 1971. 244 p. URL: https://archive.org/details/postindustrialso00tour_0 (дата звернення: 20.09.2024).
4. Sashchuk H. M. D. Bell about the innovative nature of post - industrial society. Вісник Донецького національного університету імені Василя Стуса. Серія: політичні науки. 2021. № 6. С. 9-13. URL: <https://jvestnik-politology.donnu.edu.ua/article/view/11071/10969> (дата звернення: 13.02.2024).
5. Bell, Daniel. The Coming of Post-Industrial Society: a Venture in Social Forecasting. New York: Basic Books, 1976. URL: <https://socialistregister.com/index.php/srv/article/download/5320/2221/7195> (дата звернення: 18.09.2024).
6. Tapscott D. The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence. New York: McGraw-Hill, 1995. 342 p. ISBN 978-0-07-063342-1.
7. Drucker P. F. Post-Capitalist Society. New York: HarperCollins, 1993. 232 p. ISBN 978-0-88730-661-7.
8. Machlup F. The Production and Distribution of Knowledge in the United States. Princeton: Princeton University Press, 1962. 416 p. URL: <https://press.princeton.edu/books/hardcover/9780691003566/the-production-and-distribution-of-knowledge-in-the-united-states> (дата звернення: 06.04.2024).

9. Porat M. U. The Information Economy: Definition and Measurement. Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce, Office of Telecommunications, OT Special Publication 77-12(1), 1977. 265 p.
10. Powell W. W., Snellman K. The Knowledge Economy. *Annual Review of Sociology*. 2004. Vol. 30. P. 199-220. DOI: 10.1146/annurev.soc.29.010202.100037.
11. Стеценко Б. С. Становлення постіндустральної економіки в Україні: міфи та реальність. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. 2017. С. 115-118. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Nvmgu_eim_2017_27\(2\)_24](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Nvmgu_eim_2017_27(2)_24) (дата звернення: 23.02.2024).
12. Островська Г. Проблеми і перспективи розвитку економіки, заснованої на знаннях. *Вісник Тернопільського національного економічного університету*. 2016. № 4. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/18303/1/%D0%9E%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%20%D0%93..pdf> (дата звернення: 09.06.2024).
13. González, R. C. L. Postindustrial Economy. In A. M. Orum (Ed.), *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies*. Hoboken: Wiley. 2019. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118568446.eurs0241> (дата звернення: 10.09.2024).
14. M. Anthony Mills *The Arrival of Post-Industrial Society*. National Affairs. January 02, 2024. URL: <https://www.aei.org/articles/the-arrival-of-post-industrial-society/#:~:text=Recent%20critics%20have%20argued%20that%20in%20highligh,ting%20these> (дата звернення: 27.09.2024).
15. Черничко Т.В., Козик І.М. Концептуальні основи постіндустріального етапу розвитку економічної системи: теоретичні засади. *Економіка та суспільство*. 2021. Випуск # 26. URL:

<https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/download/322/308/>

(дата звернення: 04.09.2024).

16. Fuchs V. R. The Service Economy. New York: National Bureau of Economic Research, Columbia University Press, 1968. 280 p. URL: <https://www.nber.org/books-and-chapters/service-economy> (дата звернення: 20.02.2024).

17. Solow R. M. Technical Change and the Aggregate Production Function. The Review of Economics and Statistics. 1957. Vol. 39, No. 3. P. 312-320. DOI: 10.2307/1926047.

18. Romer P. M. Endogenous Technological Change. Journal of Political Economy. 1990. Vol. 98, No. 5, Pt. 2. P. S71-S102. DOI: 10.1086/261725.

19. Пищуліна О. Цифрова економіка: тренди, ризики та соціальні детермінанти. Центр Разумкова, Видавництво «Заповіт», 2020. URL: https://razumkov.org.ua/uploads/article/2020_digitalization.pdf (дата звернення: 13.06.2024).

20. Metz R. Market Place: Keeping an Eye On Big Trends. The New York Times. November 4, 1969. P. 64. URL: <https://www.nytimes.com/1969/11/04/archives/market-place-keeping-an-eye-on-big-trends.html> (дата звернення: 13.04.2024).

21. Офіційний сайт Організації економічного співробітництва і розвитку. URL: <http://www.oecd.org> (дата звернення: 26.04.2024).

22. Карпик Я.М., Імнадзе І. Н. Глобальний високотехнологічний ринок: діяльність транснаціональних корпорацій та цифровізація. Журнал стратегічних економічних досліджень. 2023. № 6(17).

23. Прушківська Е. В., Ткачук А. М. Теоретичні основи визначення високотехнологічного сектору економіки та його розвитку. Економічний простір. 2019. № 151. С. 5-15. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/bitstream/123456789/5370/1/Pruschkivska.pdf> (дата звернення: 14.11.2024).

24. Белов О. Вплив циклічної компоненти на динаміку високотехнологічного експорту в Польщі. Вісник економіки. 2023. Вип. 2. С. 8-22. DOI: <https://doi.org/10.35774/visnyk2023.02.008>.

25. Корсунова К. Ю. Світовий та український ринки високих технологій: особливості розвитку, маркетингові стратегії та тенденції в умовах швидкої трансформації. Бізнес-інформ. 2023. № 8. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2023-8_0-pages-106_113.pdf (дата звернення: 17.11.2024).

26. Прушківська Е. В., А. М. Ткачук Сутність та структура високотехнологічного сектору національної економіки. Економічний вісник. 2019. №2. URL: https://ev.nmu.org.ua/docs/2019/2/EV20192_043-052.pdf (дата звернення: 08.11.2024).

27. Bhatia M.S. , S. Kumar Linking stakeholder and competitive pressure to Industry 4.0 and performance: mediating effect of environmental commitment and green process innovation. Bus. Strat. Environ., 31 (2022), pp. 1905-1918. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bse.2989?src=getftr> (дата звернення: 05.09.2024).

28. SONG Hefa, ZHAO Xing, and WU Jingjing Science & T Science & Technology Innovation, Intellectual Property Development Countermeasures under Background of US-China Trade Conflict. 2019. №8. URL: <https://bulletinofcas.researchcommons.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1344&context=journal> (дата звернення: 26.06.2024).

29. Kohtamäki, M.; Parida, V.; Patel P.C.; Gebauer, H. The relationship between digitalization and servitization: The role of servitization in capturing the financial potential of digitalization. Technol. Forecast. Soc. Change 2020, 151, 119804.

30. Lee, Y.-C.; Dervishi, I.; Mousa, S.; Safiullin, K.I.; Ruban-Lazareva, N.V.; Kosov, M.E.; Ponkratov, V.V.; Pozdnyaev, A.S.; Mikhina, E.V.; Elyakova, I.D. Sustainable Development Adoption in the High-Tech Sector: A Focus on Ecosystem Players and Their Influence. Sustainability 2023, 15, 13674.

- <https://doi.org/10.3390/su151813674>. URL:
<https://www.researchgate.net/publication/37393> (дата звернення: 08.02.2024).
31. O'Connor E. Top 50 digital transformation statistics and trends for 2022 (2022, January 24). URL: <https://www.epcgroup.net/top-50-digital-transformation-statistics-and-trends-for-2022/> (дата звернення: 10.04.2024).
32. M. X. Lee, Y. C. Lee and C. J. Chou, "Essential implications of the digital transformation in industry 4.0," *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 76, pp. 465-467, 2017.
33. Джалілов А. Я. Інституційна система фрагментарного міжнародного виробництва транснаціональних фірм. *Бізнес Інформ*. 2015. № 10. С. 36-40. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=binf_2015_10_6 (дата звернення: 23.11.2024).
34. Кочетков В. М. Розвиток українських ТНК як фактор росту економіки країни. *Ефективна економіка*. 2013. № 5. С. 55- 60. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2001> (дата звернення: 06.09.2024).
35. Молчанова Е. Взаємодія транснаціональних корпорацій з національними економіками на прикладі України. 2012. URL: <https://econom.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/07/TNK-i-Ukraina.pdf> (дата звернення: 17.04.2024).
36. Ptashchenko O. V. Transformation of the global economic space in the present. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2018. Вип. 4 (245). С. 14-18. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/VSUNU_2018_4_5.pdf (дата звернення: 23.02.2024).
37. Шевченко І. О. Формування методологічного підходу до визначення розвитку цифрової торгівлі на глобальних ринках. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2022. Вип. 3 (03). URL:

<http://dees.iei.od.ua/index.php/journal/article/view/111> (дата звернення: 06.02.2024).

38. Птащенко О. В. Міжнародний маркетинг високих технологій: теорія і практика: монографія. Харків: ТОВ «Майдан», 2018. 388 с.

39. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, 2015. 35 p. URL: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp? (дата звернення: 21.04.2024).

40. Євтушенко Г. І., Куценко В. І., Птащенко О. В. Теоретико-методологічні аспекти стратегічного управління якістю освіти (проблеми, пошуки, розв'язання). Бізнес-інформ. 2015. № 10. С. 102-106.

41. Drucker P. F. Innovation and Entrepreneurship: Practice and Principles. London, 2014. 368 p. URL: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315747453/innovation-entrepreneurship-peter-drucker-joseph-maciariello> (дата звернення: 17.04.2024).

42. Alam S., Chu T., Lohokare S., S. Saito, Globality and complexity of the semiconductor ecosystem. Accenture GSA (Global Semiconductor Association). 2020. URL: <https://www.gsaglobal.org/wp-content/uploads/2020/02/GSA-Accenture-Globality-and-Complexity-of-the-Semiconductor-Ecosystem.pdf> (дата звернення: 15.11.2024).

43. Brynjolfsson E., McAfee A. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. New York: W. W. Norton & Company, 2014. 306 p. ISBN 978-0-393-23935-5.

44. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2016. 172 p. ISBN 978-1-944835-01-9.

45. Quah D. The Weightless Economy in Economic Development. CEP Discussion Paper No. 417. London: Centre for Economic Performance, London School of Economics and Political Science, 1999. URL: <https://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp0417.pdf> (дата звернення: 20.02.2024).

46. Pullin T. The semiconductor industry and the power of globalisation. Economist. 2018. URL: <https://www.economist.com/briefing/2018/12/01/the->

semiconductor-industry-and-the-power-of-globalisation (дата звернення: 24.11.2024).

47. Costello K. How Russia's invasion of Ukraine could aggravate semiconductor market dynamics. Gartner. 2022. URL: <https://www.gartner.com/en/articles/how-russia-s-invasion-of-ukraine-could-aggravate-semiconductor-market-dynamics1> (дата звернення: 16.04.2024).

48. Costello K. How Russia's invasion of Ukraine could aggravate semiconductor market dynamics. Gartner. 2022. URL: <https://www.gartner.com/en/articles/how-russia-s-invasion-of-ukraine-could-aggravate-semiconductor-market-dynamics1> (дата звернення: 07.06.2024).

49. Dahlman, C., Mealy S., Wermelinger M. Harnessing the Digital Economy for Developing Countries: Working Paper No. 334. Paris: OECD, 2016 // OECD. URL: <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/4adffb24-en.pdf> (дата звернення: 09.06.2024).

50. The Digital Economy. - London: British Computer Society, 2014 // BCS. URL: <http://policy.bcs.org/sites/policy.bcs.org/files/digital%20economy%20Final%20> (дата звернення: 15.11.2024).

51. Rouse M. Digital Economy: Newton: Techtargert. URL: <http://searchcio.techtargert.com/definition/digital-economy> (дата звернення: 13.04.2024).

52. Digital Economy: Oxford: Oxford University Press, 2017: Oxford Dictionary. URL: https://en.oxforddictionaries.com/definition/digital_economy (дата звернення: 17.02.2024).

53. Zhang J. Xia F., Zhang J. A hybrid mechanism for innovation diffusion in social networks. IEEE Access. 2016. Vol. 4. P. 408-416. URL: https://www.researchgate.net/publication/308180247_A_Hybrid_Mechanism_for_Innovation_Diffusion_in_Social_Networks (дата звернення: 21.11.2024).

54. Гончаренко Н.І. Особливості функціонування світового ринку інформаційних технологій в умовах трансформаційних змін глобального

економічного середовища. Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія «Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм». 2018. Вип. 7. С. 95-100. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=VKhMv_2018_7_16.

55. What Determines Export Performances in High-tech Industries? Digital Economy Lab, University of Warsaw. 2015. URL : <http://www.delab.uw.edu.pl/wp-content/uploads/2015/10/WP-What-Determines-High-tech-Exports.pdf>.

56. Цимбал Л.І., Предко Ю.В. Глобальна конкуренція на ринку високотехнологічних товарів: сучасний стан та перспективи розвитку. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія «Міжнародні економічні відносини та світове господарство». 2019. Вип. 23(2). С. 116-121. URL: http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/23_2_2019ua/24.pdf (дата звернення: 03.02.2024).

57. Остапенко Т.Г. Структура, різновиди та закономірності розвитку глобальних ринків високих технологій. Стратегія розвитку України. 2018. № 1 С. 130-139. URL: <https://jrnل.nau.edu.ua/index.php/SR/article/view/14075> (дата звернення: 20.09.2024).

58. Жданова Л. Л. Високотехнологічний сектор світової економіки у глобальній конкуренції. Науковий вісник Одеського національного економічного університету. 2022. № 11-12 (300-301). С. 7-13. URL: <http://n-visnik.oneu.edu.ua/collections/2022/300-301/page.php?id=abstract/ukr/7-13> (дата звернення: 02.11.2024).

59. Teece D.J., Pisano G., Shuen A. Dynamic capabilities and strategic management. Strategic Management Journal. 1997. Vol. 18, No. 7. P. 509-533.

60. Barney J. Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of Management. 1991. Vol. 17, No. 1. P. 99-120. DOI: 10.1177/014920639101700108.

61. Freeman C. Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan. London: Pinter Publishers, 1987. 155 p. ISBN 9780861879281.

62. Lundvall B.-Å. (ed.) National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. London: Pinter Publishers, 1992. 342 p. ISBN 1-85567-063-1.

63. Nelson R.R., Winter S.G. An Evolutionary Theory of Economic Change. Cambridge, Mass.: The Belknap Press of Harvard University Press, 1982. 437 p. URL: <https://archive.org/details/evolutionarytheo0000nels> (дата звернення: 21.04.2024).

64. Dosi G. Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. Research Policy. 1982. Vol. 11, No. 3. P. 147-162. DOI: 10.1016/0048-7333(82)90016-6.

65. Mensch G. Stalemate in Technology: Innovations Overcome the Depression. Cambridge, Mass.: Ballinger Pub. Co., 1979. 241 p. URL: <https://archive.org/details/stalemateintechn00mens> (дата звернення: 08.06.2024).

66. Semiconductor Industry Association. 2024 State of the U.S. Semiconductor Industry. Washington, D.C.: SIA, 2024. URL: <https://www.semiconductors.org/resources/2024-state-of-the-u-s-semiconductor-industry/> (дата звернення: 26.05.2025).

67. Porter M.E. The Competitive Advantage of Nations. New York: The Free Press, 1990. 855 p. URL: <https://archive.org/details/competitiveadvan0000port> (дата звернення: 13.09.2024).

68. Freeman C., Soete L. The Economics of Industrial Innovation. 3rd ed. London: Pinter; Cambridge, Mass.: MIT Press, 1997. 470 p. ISBN 978-0-262-06195-7.

69. Edquist C. (ed.) Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations. London; Washington: Pinter/Cassell, 1997. 432 p. ISBN 978-1-85567-452-1.

70. Kline S. J., Rosenberg N. An Overview of Innovation. In: The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth / R. Landau, N. Rosenberg (eds.). Washington, D.C.: National Academy Press, 1986. P. 275-305. DOI: 10.17226/612.

71. Rogers E. M. Diffusion of Innovations. 5th ed. New York: Free Press, 2003. 576 p. ISBN 978-0-7432-2209-9.
72. Christensen C. M. The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. Boston: Harvard Business School Press, 1997. 225 p. ISBN 978-0-87584-585-2.
73. Henderson R. M., Clark K. B. Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. *Administrative Science Quarterly*. 1990. Vol. 35, No. 1. P. 9-30. DOI: 10.2307/2393549.
74. Chesbrough H. W. Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. Boston: Harvard Business School Press, 2003. 227 p. ISBN 978-1-57851-837-1.
75. Etzkowitz H., Leydesdorff L. The Dynamics of Innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Research Policy*. 2000. Vol. 29, No. 2. P. 109-123. DOI: 10.1016/S0048-7333(99)00055-4.
76. Cohen W. M., Levinthal D. A. Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*. 1990. Vol. 35, No. 1. P. 128-152. DOI: 10.2307/2393553.
77. Geels F. W. Technological Transitions as Evolutionary Reconfiguration Processes: a Multi-Level Perspective and a Case-Study. *Research Policy*. 2002. Vol. 31, No. 8-9. P. 1257-1274. DOI: 10.1016/S0048-7333(02)00062-8.
78. Teece D. J. Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy. *Research Policy*. 1986. Vol. 15, No. 6. P. 285-305. DOI: 10.1016/0048-7333(86)90027-2.
79. Mowery D. C., Rosenberg N. Paths of Innovation: Technological Change in 20th-Century America. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 226 p. ISBN 978-0-521-64653-5.
80. Mazzucato M. The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths. London: Anthem Press, 2013. 266 p. ISBN 978-0-85728-252-1.

81. Brown C., Linden G. Chips and Change: How Crisis Reshapes the Semiconductor Industry. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2009. 272 p. DOI: 10.7551/mitpress/9780262013468.001.0001.

82. Macher J. T., Mowery D. C., Hodges D. A. Reversal of Fortune? The Recovery of the U.S. Semiconductor Industry. California Management Review. 1998. Vol. 41, No. 1. P. 107-136. DOI: 10.2307/41165978.

83. Khan S. M., Mann A., Peterson D. The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness. Washington, D.C.: Center for Security and Emerging Technology, 2021. DOI: 10.51593/20190016.

84. Bonvillian W. B., Singer P. L. Advanced Manufacturing: The New American Innovation Policies. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2018. 416 p. ISBN 978-0-262-03792-1.

85. Malerba F. Sectoral systems of innovation and production. Research Policy. 2002. Vol. 31, No. 2. P. 247-264. DOI: 10.1016/S0048-7333(01)00139-1.

86. Perez C. Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2002. 224 p. DOI: 10.4337/9781781005323.

87. Schumpeter J.A. Capitalism, Socialism and Democracy. New York: Harper & Brothers, 1942. 431 p. URL: <https://archive.org/details/capitalismsocial0000schu> (дата звернення: 02.02.2024).

88. Semiconductor Sales To Rise at 7.1% CAGR Through 2026. 2022. URL: <https://www.icinsights.com/data/articles/documents/1430.pdf> (дата звернення: 01.02.2026).

89. Value creation: How can the semiconductor industry keep outperforming? 2021. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/value-creation-how-can-the-semiconductor-industry-keep-outperforming> (дата звернення: 27.04.2024).

90. Vidya CT, Prabheesh KP Implications of COVID-19 pandemic on the global trade networks. Emerg Mark Financ Trade, 2020. №56(10):2408-2421. URL:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1540496X.2020.1785426> (дата звернення: 03.11.2024).

91. Leslie M. Pandemic Scrambles the Semiconductor Supply Chain. Engineering, 2022. №9(2), p. 10-12. URL: https://devp-service.oss-cn-beijing.aliyuncs.com/df1a1baa5cb711eca3d6506b4b3f16ce/file_1649313934486.pdf (дата звернення: 25.06.2024).

92. The Geopolitics of the Semiconductor Industry and India's Place in It. 2023. URL: <https://carnegieendowment.org/research/2023/06/the-geopolitics-of-the-semiconductor-industry-and-indias-place-in-it?lang=en> (дата звернення: 01.09.2024).

93. Brown D. Why China could win the new global arms race. 2022. URL: <https://go.nature.com/3SISoUs> (дата звернення: 20.09.2024).

94. Kajimoto T., Yamaguchi T. Japan unveils record budget in boost to military spending. 2022. URL: <https://go.nature.com/3uah3aj> (дата звернення: 20.06.2024).

95. Naval Technology. KSS-III (Jangbogo-III) Class Attack Submarines, South Korea. 2022. URL: <https://go.nature.com/3QFJXqC> (дата звернення: 28.09.2024).

96. Lee Y., Wang A. Taiwan to extend conscription to one year, citing rising China threat. 2022. URL: <https://go.nature.com/3sI6wTl> (дата звернення: 01.02.2024).

97. Armstrong, K., Mao, F., & Housden, T. Aukus deal: US, UK and Australia agree on nuclear submarine project. 2023. URL: <https://go.nature.com/3sH3HC0> (дата звернення: 17.09.2024).

98. Semiconductor Industry Association. Taking stock of China's semiconductor industry. 2021. URL: <https://go.nature.com/47xVM90> (дата звернення: 11.09.2024).

99. Sheppard, E., & Barnes, T. J. A Companion to Economic Geography. Oxford: Blackwell Publishers, 2002. 528 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/247813258_A_Companion_to_Economic_Geography (дата звернення: 04.02.2024).

100. Gertler MS Tacit knowledge and the economic geography of context, or the undefinable tacitness of being (there). *Journal Econ Geogr.* 2003. № 3(1):75-99. URL: <https://www.jstor.org/stable/26160465> (дата звернення: 18.11.2024).

101. Eichenberg A., M. Simanovskyy, V. Kulikov, and K.-A. Braese Navigating wartime communications: multinational corporations in the Russia-Ukraine war. *Society and Economy* 46 (2024) 1.p. 1-23. URL: https://www.researchgate.net/publication/375266905_Navigating_wartime_communications_multinational_corporations_in_the_Russia-Ukraine_war (дата звернення: 07.02.2025).

102. Seohee Park Semiconductors at the Intersection of Geoeconomics, Technonationalism, and Global Value Chains. Department of International Politics and Economy, Graduate School of International Cultural Studies, Tohoku University, Sendai 980-8576, Japan. 2023. 12(8). <https://doi.org/10.3390/socsci12080466>. URL: <https://www.mdpi.com/2076-0760/12/8/466> (дата звернення: 15.04.2024).

103. Christof Parnreiter, Frank Witlox Making connections: Global Production Networks and World City Networks. *Glob Netw.* 2010. № 10(1), p. 138-149. URL: https://www.academia.edu/15244770/Making_connections_Global_Production_Networks_and_World_City_Networks (дата звернення: 01.06.2024).

104. O. Sweidan The geopolitics of technology: Evidence from the interaction between the United States and China. *Journal of Economics* 2024. №10. p. 130-150. URL: https://www.researchgate.net/publication/382020121_The_geopolitics_of_technology_Evidence_from_the_interaction_between_the_United_States_and_China/fulltext/6687ffc9f3b61c4e2cb2e9ec/The-geopolitics-of-technology-Evidence-from-the-interaction-between-the-United-States-and-China.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uRG93bmxvYWQiLCJwcmV2aW91c1BhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbiJ9fQ (дата звернення: 21.03.2024).

105. Li W, Li YY Decoding the U.S. hegemony in the semiconductor industry: Conceptualizing the political economy of industrial power. *Foreign Aff Rev.* 2022. №39(01):22-58, p. 5-11.
106. Gordon E. Moore, Cramming More Components onto Integrated Circuits. *Electronics.* 1965. April 19, p. 114-117.
107. Manibharathi Ravi Advances in Semiconductor Manufacturing: Trends and Innovations. 2024. <https://www.eetasia.com/advances-in-semiconductor-manufacturing-trends-and-innovations/>.
108. Cusumano, M. A., & Gawer, A. The Elements of Platform Leadership. *MIT Sloan Management Review*, 2002. №43(3), p. 51-58. URL: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/1560425/mod_resource/content/2/Cusumano%20Gawer%202002.pdf (дата звернення: 04.09.2024).
109. Cusumano Michael A., Annabelle Gawer, and David B. Yoffie. *The Business of Platforms: Strategy in the Age of Digital Competition, Innovation, and Power.* Harper Business, 2019. URL: <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=56021> (дата звернення: 06.11.2024).
110. J. Lepawsky Climate change induced water stress and future semiconductor supply chain risk. 2024. URL: [https://www.cell.com/iscience/fulltext/S2589-0042\(24\)00012-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2589004224000129%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/iscience/fulltext/S2589-0042(24)00012-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2589004224000129%3Fshowall%3Dtrue) (дата звернення: 03.02.2025).
111. Why the American technological war against China could backfire. 2023. URL: <https://theconversation.com/why-the-american-technological-war-against-china-could-backfire-219158> (дата звернення: 13.09.2024).
112. CHIPS FOR AMERICA. 2024. URL: <https://www.nist.gov/chips> (дата звернення: 18.05.2025).
113. European Chips Act. 2024. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act_en (дата звернення: 20.06.2024).

114. Interconnected Worlds. Global Electronics and Production Networks in East Asia. 2023. URL: <https://www-sup.stanford.edu/books/extra/?id=33228&i=Preface.html> (дата звернення: 06.11.2024).

115. Why Intel and TSMC are building water-dependent chip factories in one of the driest U.S. states. 2021. URL: <https://www.quora.com/Why-are-Intel-and-TSMC-building-water-dependent-chip-factories-in-one-of-the-driest-U-S-states> (дата звернення: 13.11.2024).

116. The Arizona Drought Monitoring Technical Committee. 2024. URL: <https://www.azwater.gov/drought/drought-status> (дата звернення: 12.06.2024).

117. Kim S., Yoon C., Ham S., Park J., Kwon O., Park D., Choi S., Kim S., Ha K., & Kim W. Chemical use in the semiconductor manufacturing industry. International Journal of Occupational and Environmental Health, 2018. №24(3-4), 109-118. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6237170/> (дата звернення: 05.11.2024).

118. Ruberti M. Environmental performance and trends of the world's semiconductor foundry industry. 2024. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.13529?msocid=2173f2936063607606d6e66761b1612c> (дата звернення: 10.11.2024).

119. Shen C.-W., Tran P. P., & Minh Ly P. T. Chemical waste management in the U.S. semiconductor industry. Sustainability, 2018. 10(5), 1545. URL: <https://doi.org/10.3390/su10051545> (дата звернення: 04.06.2024).

120. CRS (Congressional Research Service). Semiconductors: U.S. industry, global competition, and federal policy. The Free Library. CRS Reports and Issue Briefs. 2020. URL: <https://www.thefreelibrary.com/Semiconductors%3a+U.S.+Industry%2C+Global+Competition%2C+and+Federal+Policy.-a0661274213> (дата звернення: 15.04.2024).

121. Mullen E., & Morris M. A. Green nanofabrication opportunities in the semiconductor industry: A life cycle perspective. *Nanomaterials*, 2021. №11(5), 1085. URL: <https://doi.org/10.3390/nano11051085> (дата звернення: 27.11.2024).
122. Englund E., Eliadis E., Flynn C., & Lubowe D. How semiconductor companies can lead on sustainability issues. 2023. URL: <https://ceo-na.com/opinion/how-semiconductor-companies-can-lead-on-sustainability-issues/> (дата звернення: 10.11.2024).
123. Castells, M. *The Rise of the Network Society*. Wiley-Blackwell. 2009. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781444319514> (дата звернення: 05.09.2024).
124. Powell W. and S. Grodal, "Network of Innovators," In: J. Fagerberg, D. Mowery and R. R. Nelson, Eds., *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford, 2005, p. 56-85.
125. Gawer, A., & Cusumano, M. A. *Platform Leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco Drive Industry Innovation*. Harvard Business Review Press. 2014. URL: https://www.researchgate.net/profile/Annabelle-Gawer/publication/261330796_Industry_Platforms_and_Ecosystem_Innovation/links/5dbfdd544585151435e5234f/Industry-Platforms-and-Ecosystem-Innovation.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19 (дата звернення: 18.06.2024).
126. Sturgeon, T. J. *Global Value Chains and Economic Globalization - Towards a New Measurement Framework*. 2013. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/7828051/8076042/Sturgeon-report-Eurostat.pdf> (дата звернення: 25.11.2024).
127. Baldwin, C. Y., & Clark, K. B. *Design Rules: The Power of Modularity*. MIT Press. 2000. URL: <https://direct.mit.edu/books/monograph/1856/Design-Rules-Volume-1The-Power-of-Modularity> (дата звернення: 11.02.2024).
128. Fairchild Semiconductor Corporation <https://www.semiconductor-technology.com/contractors/component/fairchildco/>.

129. Riordan, M., & Hoddeson, L. Crystal Fire: The Birth of the Information Age. W.W. Norton & Company. 1997. URL: https://www.researchgate.net/publication/245508991_Crystal_Fire_The_Invention_Development_and_Impact_of_the_Transistor_Adapted_from_Chapter_1_of_Crystal_Fire_The_Birth_of_the_Information_Age_by_Michael_Riordan_and_Lillian_Hoddeson_published_in_1997_by (дата звернення: 06.04.2024).
130. Berlin, L. The Man Behind the Microchip: Robert Noyce and the Invention of Silicon Valley. Oxford University Press. 2005. 440 p.
131. Lojek, B. History of Semiconductor Engineering. Springer Science & Business Media. 2007. URL: https://www.researchgate.net/publication/230660717_History_of_Semiconductor_Engineering (дата звернення: 14.04.2024).
132. Moore, G. E. Cramming More Components onto Integrated Circuits. Electronics. 1965. №38(8), p. 114-117.
133. GORDON E. MOORE, LIFE FELLOW, IEEE Cramming More Components onto Integrated Circuits. 1998. URL: <https://www.cs.utexas.edu/~fussell/courses/cs352h/papers/moore.pdf> (дата звернення: 24.04.2024).
134. Tassey G Structural change and competitiveness: The US semiconductor industry. Technol Forecast Soc Change. 1990. №37(1). P. 85-93. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/004016259090061Y?via%3Dihub> (дата звернення: 22.04.2024).
135. O'Mara, M. Cities of Knowledge: Cold War Science and the Search for the Next Silicon Valley (Politics and Society in Modern America) Paperback. 2015. 320 p.
136. Breznitz, D. Innovation and the State: Political Choice and Strategies for Growth in Israel, Taiwan, and Ireland. Yale University Press. 2007. URL: <https://www.jstor.org/stable/j.ctt1nppt9> (дата звернення: 03.02.2024).
137. Baldwin R. The great convergence: Information technology and the new globalization. Belknap Press, Cambridge. 2017. URL:

<https://www.degruyter.com/document/doi/10.4159/9780674972667/html> (дата звернення: 11.11.2024).

138. The History of Semiconductor Industry. March 29, 2023. URL: <https://inquivixtech.com/history-of-semiconductor-industry/> (дата звернення: 18.02.2024).

139. O'Meara, S. Meet the engineer behind China's first robot-run coronavirus ward. Nature. 2020. №582(7813). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32581375/> (дата звернення: 25.04.2024).

140. The global chip industry and future of semiconductors. 13 Jun 2023. URL: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/future-of-the-global-microchip-industry> (дата звернення: 26.09.2024).

141. Dibiaggio L., M. Nasiriyar Knowledge integration and vertical specialization in the semiconductor industry. 2009/12. №6. P. 265-276. URL: https://scholar.google.co.uk/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=M-9NFrgAAAAJ&citation_for_view=M-9NFrgAAAAJ:IjCSPb-OGc4C (дата звернення: 05.09.2024).

142. Jiang WY, Quan XH, Zhou S Historical, entrepreneurial and supply chain management perspectives on the semiconductor industry. Int J Innov Technol Manag. 2010. №7(1). P. 1-18.

143. Gawer, A., & Cusumano, M. A. Industry Platforms and Ecosystem Innovation. Journal of Product Innovation Management. 2014. №31(3). URL: https://www.researchgate.net/publication/261330796_Industry_Platforms_and_Ecosystem_Innovation (дата звернення: 04.06.2024).

144. Bown, Chad P. The US-China trade war and Phase One agreement. Journal of Policy Modeling, Elsevier. 2021. vol. 43(4), pages 805-843.

145. Sturgeon, Timothy J. & Zylberberg, Ezequiel, The global information and communications technology industry: where Vietnam fits in global value chains. Policy Research Working Paper Series 7916, The World Bank. 2016. URL: <https://ideas.repec.org/p/wbk/wbrwps/7916.html> (дата звернення: 17.09.2024).

146. Hsu JY State transformation and the evolution of economic nationalism in the East Asian developmental state: The Taiwanese semiconductor industry as case study. *Trans Inst Br Geographers*. 2017. №42(2). P. 166-178. URL: <https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/tran.12165> (дата звернення: 04.04.2024).

147. Yeung HWC Explaining geographic shifts of chip making toward East Asia and market dynamics in semiconductor global production networks. *Econ Geogr*. 2022. №98(3). P. 272-298. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00130095.2021.2019010> (дата звернення: 04.11.2024).

148. Chen JH, Jan TS A system dynamics model of the semiconductor industry development in Taiwan. *J Operational Res Soc*. 2005. №56(10). P. 1141-1150. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1057/palgrave.jors.2601958> (дата звернення: 03.09.2024).

149. Yeung HWC Strategic Coupling: East Asian Industrial Transformation in the New Global Economy. Cornell University Press, Ithaca, NY. 2016. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.7591/9781501704277/html>.

150. Kong XX, Zhang M, Ramu SC China's semiconductor industry in global value chains. *Asia Pac Bus Rev*. 2016. №22(1). P. 150-164. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13602381.2014.990205> (дата звернення: 28.02.2024).

151. Grimes S, Du DB China's emerging role in the global semiconductor value chain. *Telecommun Policy*. 2022. 46(2):101959. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308596120300513?via%3Dihub> (дата звернення: 08.11.2024).

152. Nvidia's Acquisition of Arm: A Game-Changer for the AI Ecosystem. Jun 6, 2024. URL: <https://medium.com/vanguard-industry-foresight/nvidias-acquisition-of-arm-a-game-changer-for-the-ai-ecosystem-351f49e7e0ce> (дата звернення: 15.03.2024).

153. Semiconductor Market Size, Share, Growth & Forecast. 2032. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/semiconductor-market-102365> (дата звернення: 21.02.2024).

154. Ranked: Semiconductor Production by Country or Region (1990-2032F). URL: <https://www.visualcapitalist.com/semiconductor-production-by-country-or-region-1990-2032f/> (дата звернення: 23.09.2024).

155. VLSI Research Projection SEMI JP Morgan Asset Management. URL: <https://am.jpmorgan.com/content/dam/jpm-am-aem/americas/br/en/insights/market-insights/mi-gtm-latam-br-en.pdf> (дата звернення: 07.11.2024).

156. State of the semiconductor industry. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/technology/state-of-the-semicon-industry.html> (дата звернення: 15.06.2024).

157. Global M&A trends in technology, media and telecommunications: 2025 outlook. PwC. 2025. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/services/deals/trends/telecommunications-media-technology.html> (дата звернення: 08.09.2025).

158. Semiconductor Market Size, Share, Trends. URL: <https://market.us/report/semiconductor-market/> (дата звернення: 05.02.2024).

159. 2025 semiconductor industry outlook. URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-telecom-outlooks/semiconductor-industry-outlook.html> (дата звернення: 19.01.2026).

160. Largest semiconductor companies by market cap. 2025. URL: <https://companiesmarketcap.com/semiconductors/largest-semiconductor-companies-by-market-cap/> (дата звернення: 23.10.2025).

161. Largest semiconductor companies by revenue 2025. URL: <https://companiesmarketcap.com/semiconductors/largest-semiconductor-companies-by-revenue/> (дата звернення: 16.10.2025).

162. Largest semiconductor companies by profitable 2025. URL: <https://companiesmarketcap.com/semiconductors/most-profitable-semiconductor-companies/> (дата звернення: 24.11.2025).

163. Broadcom Financial Statements 2009-2025 . AVGO. URL: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/AVGO/broadcom/financial-statements> (дата звернення: 04.12.2025).

164. TAIWAN Financial Statements 2009-2025 . AVGO. URL: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/TSM/taiwan-semiconductor-manufacturing/financial-statements> (дата звернення: 04.12.2025).

165. NVIDIA Financial Statements 2009-2025 . AVGO. URL: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/NVDA/nvidia/financial-statements> (дата звернення: 15.09.2025).

166. ASML Financial Statements 2009-2025 . AVGO. URL: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/ASML/asml-holding/financial-statements> (дата звернення: 11.12.2025).

167. QUALCOMM Financial Statements 2009-2025 . AVGO. URL: <https://macrotrends.net/stocks/charts/QCOM/qualcomm/financial-statements> (дата звернення: 19.01.2026).

168. India Sees A New Wave Of Semiconductor Companies Acquisition In 2024 - WireUnwired. URL: <https://wireunwired.com/indian-semiconductor-companies-acquisition-2024/> (дата звернення: 02.11.2024).

169. RENESAS ELECTRONICS CORPORATION. FEBRUARY 9, 2023. URL: https://www.renesas.com/en/document/ppt/2022-full-year-presentation-material?srsltid=AfmBOookl0_Eaq1XvUFPOobWHS8oKT-cRL6lQU3GAIVYYc-CuNf7ByC1 (дата звернення: 20.04.2024).

170. Renesas Electronics Corporation completed the acquisition of Steradian Semiconductors Pvt. Ltd. URL: <https://www.marketscreener.com/quote/stock/RENESAS-ELECTRONICS-CORPO-6496219/news/Renesas-Electronics-Corporation-completed-the->

[acquisition-of-Steradian-Semiconductors-Pvt-Ltd-41790742/](#) (дата звернення: 09.06.2024).

171. Stout Advises on Sale of Central Semiconductor Corp. to AEM. URL: <https://www.stout.com/en/news/stout-advises-sale-central-semiconductor-corp-aem> (дата звернення: 19.06.2024).

172. Renesas Completes Acquisition of Altium. URL: https://www.altium.com/company/newsroom/press-releases/renesas-completes-acquisition-altium?srsId=AfmBOopkrXFoDs5aRwrJltqdLuyeSdCY80BqgmB-xI3Sc_PgOTDjujDi (дата звернення: 23.04.2024).

173. 2024 Semiconductor Industry Highlights (Part I) . by SLKOR Semicon. URL: <https://slkor.medium.com/2024-semiconductor-industry-highlights-part-i-aca2e8d22742> (дата звернення: 05.03.2024).

174. IMAA Weekly M&A. December 11 to 17, 2023. URL: <https://imaa-institute.org/m-and-a-news/mergers-and-acquisitions-news-week-dec-11-dec-17-2023/> (дата звернення: 04.09.2024).

175. Semiconductor Digest: A roundup of the latest developments. URL: <https://www.spglobal.com/market-intelligence/en/news-insights/research/semiconductor-digest-a-roundup-of-the-latest-developments> (дата звернення: 01.04.2024).

176. Allegro MicroSystems Completes Acquisition of Crocus Technology to Accelerate Innovation in TMR Sensing Technology. URL: <https://investors.allegromicro.com/news-releases/news-release-details/allegro-microsystems-completes-acquisition-crocus-technology/> (дата звернення: 19.09.2024).

177. SoftBank Strikes \$6.5B Deal to Buy US Chip Designer Ampere. URL: <https://www.investopedia.com/softbank-strikes-usd6-5b-deal-to-buy-us-chip-designer-ampere-11700302> (дата звернення: 28.04.2024).

178. Semiconductor Newsletter. URL: <https://thehigh-k.com/p/ma-frenzy> (дата звернення: 12.02.2024).

179. India Sees A New Wave Of Semiconductor Companies Acquisition In 2024 - WireUnwired. URL: <https://wireunwired.com/indian-semiconductor-companies-acquisition-2024/> (дата звернення: 24.06.2024).

180. Барабась Д., Ільницький Д., Андрусик В. Штучний інтелект в системі детермінант конкурентоспроможності сучасного бізнесу. Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences. 2024. Том 336, № 6. С. 454-460. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-336-70>.

181. Andrusyk V. Competitive Struggle for High-Tech Leadership: The Global Dimension of the Semiconductor Market. Bulletin of the Academy of Labor, Social Relations and Tourism. 2025. Vol. 5. DOI: <https://doi.org/10.54929/3041-2390-2025-05-01-13>.

182. Андрусик В.В. Вплив технологій штучного інтелекту на трансформацію конкурентних стратегій та структуру попиту на глобальному ринку напівпровідників. Бізнес-навігатор. 2026. Випуск 85. DOI: <https://doi.org/10.32782/business-navigator.85-105>.

183. Андрусик В.В. Інституційна трансформація конкурентної взаємодії на глобальному ринку напівпровідників: від ринкового до державно-стратегічного режиму організації галузі. Інноваційна економіка. 2026. № 1. С. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2026.1.3>.

184. Андрусик В. Адаптація високотехнологічного сектору в умовах формування пост-індустріального суспільства. IV International Scientific and Practical Conference «Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche» (м. Болонья, Італія, 28-29 вересня 2023 р.). URL: <https://archive.logos-science.com/index.php/conference-proceedings/article/view/1117> (дата звернення: 07.09.2024).

185. Андрусик В. Детермінанти розвитку економічної моделі індустрії напівпровідників. Бізнес-аналітика: моделі, інструменти та технології: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 5-6 березня 2024 р.). Київ: НАУ, 2024. С. 162.

186. Ilnytskyy D., Drobotiuk O., Andrusyk V. Sustainable development through green innovations: economic strategies of China and the EU compared. The 7th International Conference on Economics and Social Sciences (Bucharest, Romania, 13-14 June 2024). DOI: <https://doi.org/10.24818/icess/2024/048>.

187. Андрусик В. Вплив напівпровідникової промисловості на міжнародні економічні відносини в умовах глобальної конкуренції. Міжнародні економічні відносини у глобальному та регіональному вимірі (м. Ужгород, 18-19 жовтня 2024 р.). Львів-Торунь: Liha-Pres, 2024. С. 262. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-428-6-72>.

188. Андрусик В. Ключові тренди конкурентного розвитку ринку напівпровідників. Стратегічні напрями економічної та соціальної політики в контексті глобальних змін (м. Одеса, 7 лютого 2025 р.). Львів-Торунь: Liha-Pres, 2025. С. 302. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-475-0-75>.

189. Drobotiuk O., Andrusyk V. Smart Cities in China and the EU: Localizing Experiences for Sustainable Urban Development. EMIDWORLD 3rd International Congress on Economics, Public Finance, Business & Social Sciences (Baku, Azerbaijan, 13-15 November 2025).

190. William Y. Jiang, X. Quan, and S. Zhou. "Historical, Entrepreneurial and Supply Chain Management: Perspectives on the Semiconductor Industry" International Journal of Innovation and Technology Management (2008): 1-18. URL:

https://scholarworks.sjsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/org_mgmt_pub/article/1016/&path_info=Jiang_HistoricalEntrepreneurial_InternationalJournal_091613AC.pdf (дата звернення: 10.06.2024).

191. The global production pattern of the semiconductor industry: an empirical research based on trade network. URL: <https://www.nature.com/articles/s41599-024-03253-5> (дата звернення: 17.02.2024).

192. Yeung HWC (2022b) Explaining geographic shifts of chip making toward East Asia and market dynamics in semiconductor global production networks. *Econ Geogr* 98(3):272-298. URL:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00130095.2021.2019010> (дата звернення: 22.02.2024).

193. Hsu JY (2017) State transformation and the evolution of economic nationalism in the East Asian developmental state: The Taiwanese semiconductor industry as case study. *Trans Inst Br Geographers* 42(2):166-178. URL: <https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/tran.12165> (дата звернення: 20.02.2024).

194. Kong XX, Zhang M, Ramu SC (2016) China's semiconductor industry in global value chains. *Asia Pac Bus Rev* 22(1):150-164. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13602381.2014.990205> (дата звернення: 19.11.2024).

195. Coe NM, Dicken P, Hess M, Yeung HWC (2010) Making connections: Global Production Networks and World City Networks. *Glob Netw* 10(1):138-149. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1471-0374.2010.00278.x> (дата звернення: 03.04.2024).

196. Grimes S, Du DB (2022) China's emerging role in the global semiconductor value chain. *Telecommun Policy* 46(2):101959. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308596120300513?via%3Dihub> (дата звернення: 06.09.2024).

197. WSTS Home. URL: <https://www.wsts.org/> (дата звернення: 21.04.2024).

198. Historical Billings Report. 2015-2025 pp. URL: <https://www.wsts.org/67/Historical-Billings-Report> (дата звернення: 18.12.2025).

199. HAFIZA A.C. ARTHADESWA THE DYNAMICS OF SEMICONDUCTOR COMPETITION IN EAST ASIA - MODERN DIPLOMACY. 2025. URL: <HTTPS://MODERNDIPLOMACY.EU/2025/05/01/THE-DYNAMICS-OF-SEMICONDUCTOR-COMPETITION-IN-EAST-ASIA/> (ДАТА ЗВЕРНЕННЯ: 26.01.2026).

200. The Chip War: US vs. China Semiconductor Production Stats in 2020-2030. PatentPC. 2025. URL: <https://patentpc.com/blog/the-chip-war-us-vs-china-semiconductor-production-stats-in-2020-2030> (дата звернення: 12.01.2026).

201. What's happening in China's semiconductor industry? - Economics Observatory. 2025. URL: <https://www.economicsobservatory.com/whats-happening-in-chinas-semiconductor-industry> (дата звернення: 16.10.2025).

202. Securing the AI chips supply and value network - INSIDE Industry Association. URL: <https://inside-association.eu/2025/03/28/securing-the-ai-chips-supply-and-value-network/> (дата звернення: 07.03.2026).

203. Modern Slavery Act 2015. URL: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2015/30/contents> (дата звернення: 15.04.2024).

204. The German Supply Chain Act . Germany . Global law firm. URL: <https://www.nortonrosefulbright.com/en-de/knowledge/publications/ff7c1d04/the-german-supply-chain-act> (дата звернення: 13.04.2024).

205. UNITED STATES-MEXICO-CANADA TRADE FACT SHEET Agriculture: Market Access and Dairy Outcomes of the USMC Agreement. URL: [https://ustr.gov/trade-agreements/free-trade-agreements/united-states-mexico-canada-agreement/fact-sheets/market-access-and-dairy-outcomes#:~:text=The%20new%20United%20States%E2%80%93Mexico%E2%80%93Canada%20Agreement%20\(USMCA\)%20will%20advance,important%20markets%20for%20American%E2%80%99s%20farmers,%20ranchers,%20and%20agribusinesses](https://ustr.gov/trade-agreements/free-trade-agreements/united-states-mexico-canada-agreement/fact-sheets/market-access-and-dairy-outcomes#:~:text=The%20new%20United%20States%E2%80%93Mexico%E2%80%93Canada%20Agreement%20(USMCA)%20will%20advance,important%20markets%20for%20American%E2%80%99s%20farmers,%20ranchers,%20and%20agribusinesses) (дата звернення: 02.11.2024).

206. 2025 Semiconductor Outlook. URL: <https://www.deloitte.com/southeast-asia/en/services/consulting/perspectives//2025-semiconductor-outlook-en.html> (дата звернення: 16.10.2025).

207. Explained: What the hell IDM, Fabless, or Fab-Lite model? - techovedas. URL: <https://techovedas.com/explained-what-the-hell-idm-fabless-or-fab-lite-model/> (дата звернення: 07.11.2024).

208. Monopolization in the Chip Industry: How Key Players Dominate the Global Chip Industry. 2024. URL: <https://www.lucintel.com/lucintel-brief/TechnologyTelecommunication/Monopolization-in-the-Chip-Industry-How-Key-Players-Dominate-the-Global-Chip-Industry.aspx> (дата звернення: 22.06.2024).

209. Embedded - TSMC's 2nm Technology Almost Ready for Mass Production. URL: https://www.embedded.com/tsmcs-2nm-technology-almost-ready-for-mass-production/?utm_source=ts2.tech#:~:text=According%20to%20its%20roadmap%2C%C2%A0TSMC%20expects,usage%20and%20increasing%20battery%20life (дата звернення: 19.09.2024).

210. Embedded - TSMC's 2nm Technology Almost Ready for Mass Production. URL: https://www.embedded.com/tsmcs-2nm-technology-almost-ready-for-mass-production/?utm_source=ts2.tech#:~:text=According%20to%20its%20roadmap%2C%C2%A0TSMC%20expects,usage%20and%20increasing%20battery%20life (дата звернення: 20.02.2024).

211. TSMC's 2nm Technology Almost Ready for Mass Production. URL: https://www.embedded.com/tsmcs-2nm-technology-almost-ready-for-mass-production/?utm_source=ts2.tech#:~:text=expected%20this%20year,by%20the%20end%20of%202026 (дата звернення: 05.11.2024).

212. Gartner: Global semiconductor revenue to reach \$705 billion by 2025 - SemiMedia. URL: https://www.semimedia.cc/18498.html?utm_source=ts2.tech#:~:text=TSMC%E2%80%99s%20CoWoS%20capacity%20to%20reach,2025 (дата звернення: 14.03.2026).

213. Global semiconductor revenue to hit \$705 billion in 2025 on rising AI demand. URL: https://www.design-reuse.com/news/202501343-global-semiconductor-revenue-to-hit-705-billion-in-2025-on-rising-ai-demand/?utm_source=ts2.tech#:~:text=applications (дата звернення: 06.02.2026).

214. Embedded - TSMC's 2nm Technology Almost Ready for Mass Production. URL: <https://www.embedded.com/tsmcs-2nm-technology-almost-ready-for-mass->

production/?utm_source=ts2.tech#:~:text=in,used%20in%20Panther%20Lake%20processors (дата звернення: 02.04.2024).

215. Exclusive: Trump prepares to change US CHIPS Act conditions, sources say. URL: https://www.reuters.com/technology/trump-prepares-change-us-chips-act-conditions-sources-say-2025-02-13/?utm_source=ts2.tech#:~:text=manufacturing%20facilities%20in%20China (дата звернення: 06.02.2026).

216. Semiconductor Industry Trends in 2025: Innovations, Challenges, and Market Dynamics. URL: <https://www.profbanafa.com/2025/03/semiconductor-industry-trends-in-2025.html> (дата звернення: 02.10.2025).

217. Quantinuum. URL: <https://www.quantinuum.com/glossary-item/quantum-advantage> (дата звернення: 13.04.2024).

218. Progress Toward Practical Areas of Quantum Technology. URL: <https://www.csis.org/analysis/progress-toward-practical-areas-quantum-technology> (дата звернення: 16.09.2024).

219. Source Electronics Products. URL: <https://www.source-ep.com/impact-of-quantum-computing-on-semiconductor-manufacturing/> (дата звернення: 06.09.2024).

220. Quantum Computing in Semiconductor Advancement - Microchip USA. URL: <https://www.microchipusa.com/industry-news/quantum-computing-in-semiconductor-advancement?srsltid=AfmBOoosXe1wDdsW5n6zunOsNX9otXT2admj7jn8zOvaJ-10IzsvllVi> (дата звернення: 04.06.2024).

221. Steady progress in approaching quantum advantage. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/steady-progress-in-approaching-the-quantum-advantage> (дата звернення: 04.09.2024).

222. Quantum Computing and its Role in Semiconductors. URL: <https://www.acldigital.com/blogs/quantum-computing-semiconductors> (дата звернення: 06.11.2024).

223. Quantum Computing Is the Missing Piece for AI, and These Stocks Could Benefit Most. URL: <https://www.nasdaq.com/articles/quantum-computing-missing-piece-ai-and-these-stocks-could-benefit-most> (дата звернення: 11.09.2024).

224. The Convergence of AI Chips and Quantum Computing: Future Possibilities. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/blog/SE/the-convergence-of-ai-chips-and-quantum-computing-future-possibilities> (дата звернення: 08.02.2024).

225. Exploring the Concept of Quantum Advantage - EntropiQ. 2025. URL: <https://entropiq.com/quantum-advantage/> (дата звернення: 28.03.2026).

226. GF Plays a Role in Quantum Ecosystem. URL: <https://gf.com/blog/gf-plays-role-quantum-ecosystem/> (дата звернення: 10.04.2024).

227. FDX™ FD-SOI. URL: <https://gf.com/technology-platforms/fdx-fd-soi/> (дата звернення: 16.06.2024).

228. Snowcap Compute Launches with \$23 Million Led by Playground Global to Power the Next Era of AI and Quantum Compute. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20250623688438/en/Snowcap-Compute-Launches-with-%2423-Million-Led-by-Playground-Global-to-Power-the-Next-Era-of-AI-and-Quantum-Compute> (дата звернення: 04.02.2024).

229. Rapid single flux quantum. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Rapid_single_flux_quantum (дата звернення: 04.04.2024).

230. Azizi Othman Quantum Machine Learning for Semiconductor Design: Accelerating Chip Optimization Through Quantum-Enhanced Algorithms. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/395727602_Quantum_Machine_Learning_for_Semiconductor_Design_Accelerating_Chip_Optimization_Through_Quantum-Enhanced_Algorithms (дата звернення: 08.09.2025).

231. Thompson R. EDA companies embrace quantum computing for next-generation design tools. *EE Times*. 2023. Vol. 45, № 12. P. 24-31.

232. del Alamo J. A. Nanometre-scale electronics with III-V compound semiconductors. *Nature*. 2011. Vol. 479, № 7373. P. 317-323. URL: <https://doi.org/10.1038/nature10677> (дата звернення: 06.02.2024).

233. Quantum computing's potential impact on the semiconductor industry / McKinsey & Company. McKinsey Global Institute, 2023.

234. IEEE Quantum Engineering Initiative. Quantum engineering education and workforce development. Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2023. URL: <https://quantum.ieee.org/education> (дата звернення: 24.06.2024).

235. Quantum-Enhanced AI in Semiconductors-Powering the Next Era of Microelectronics. 2025. URL: <https://semiconductorjobs.co.uk/career-advice/quantum-enhanced-ai-in-semiconductorspowering-the-next-era-of-microelectronics> (дата звернення: 03.11.2025).

236. Semiconductor Market to grow by USD 157.1 Billion (2025-2029), Rising IoT Device Adoption Fuels Growth, Report Highlights How AI is Redefining the Landscape - Technavio. URL: <https://finance.yahoo.com/news/semiconductor-market-grow-usd-157-103200223.html> (дата звернення: 05.02.2026).

237. Semiconductor Market Size, Share. URL: <https://www.industryarc.com/Report/18466/semiconductor-market> (дата звернення: 23.11.2024).

238. Global Semiconductor Market Size, Share, Industry Analysis Report By Component. URL: <https://market.us/report/semiconductor-market/> (дата звернення: 01.06.2024).

239. How Korean semiconductor firms can navigate uncertainty amid U.S. tariff bombshells - Reddal. URL: <https://www.reddal.com/insights/how-korean-semiconductor-firms-can-navigate-uncertainty-amid-u.s-tariff-bombshells/> (дата звернення: 22.09.2024).

240. [전문가 기고] 美 '관세 폭탄' 불확실성 속 韓 반도체의 생존 전략은. URL: <https://www.ajunews.com/view/20250808180903435> (дата звернення: 01.02.2024).

241. OPINION: How Korean semiconductor firms can navigate uncertainty amid U.S. tariff bombshells. AJU PRESS. URL: <https://www.ajupress.com/view/20250809120506503> (дата звернення: 24.02.2024).

242. State of the semiconductor industry. PwC. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/technology/state-of-the-semiconductor-industry.html> (дата звернення: 14.02.2024).

243. The history of the semiconductor industry in Ukraine and how it is planned to be revived. URL: <https://en.newssky.com.ua/istoriya-napivprovidnykovoyi-galuzi-v-ukrayini-ta-yak-yiyi-planuyut-vidrodyty/> (дата звернення: 05.06.2024).

244. КВЕД-2010 перелік секцій види економічної діяльності. URL: https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/kv10_i.html (дата звернення: 03.06.2024).

245. Обсяг виробленої продукції (товарів, послуг) суб'єктів господарювання за видами економічної діяльності (2013-2024). URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/fin/pssg/ovpsg_ek_2013_2022_u.xlsx (дата звернення: 24.06.2024).

246. Ukraine Advances Toward AI and Chip Policy. URL: <https://digitalstate.gov.ua/news/govtech/mintsyfra-vidpovidatyme-za-shi-ta-chyup> (дата звернення: 03.02.2024).

247. Демішев І., Войтко С. Перспективи залучення інвестицій в розвиток індустрії 4.0 в Україні. *Економіка та суспільство*. 2024. № 61. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-46> (дата звернення: 24.06.2024).

248. Щодо відновлення напівпровідникової галузі в Україні: проблеми та шляхи їх вирішення. Вісник Національної академії наук України. 2023. № 11. URL: <https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/visnyk/article/view/623> (дата звернення: 04.09.2024).

249. Russia-Ukraine war. URL: <https://kpmg.com/ua/en/home/insights/2022/05/russia-ukraine-war-impact-semiconductor-industry.html> (дата звернення: 21.11.2024).

250. Чи реально побудувати завод чипів в Україні та скільки це коштує. DOU: <https://dou.ua/lenta/articles/ukraine-chip-factory-is-real>.

251. Утюж М. В. Напівпровідникова галузь: досвід країн ЄС та перспективи України. Економіка промисловості. 2025. № 3 (111). С. 76-87. URL: <http://doi.org/10.15407/econindustry.2025.03.076> (дата звернення: 25.12.2025).

252. Chip Ukraina: A Deep Dive Into Ukraine's Semiconductor Industry. URL: <https://business.osunstate.gov.ng/blog/chip-ukraina-a-deep-dive-into-ukraines-semiconductor-industry-1764805091> (дата звернення: 21.04.2024).

253. WINWIN. Глобальна інноваційна стратегія України. URL: <https://winwin.gov.ua/> (дата звернення: 25.04.2024).

254. Про внесення змін до Положення «Про внесення змін до Положення про Міністерство цифрової трансформації України» від 04.04.2025 № 386. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/386-2025-%D0%BF#Text> (дата звернення: 19.01.2026).

255. Semiconductor . Definition, Examples, Types, Uses, Materials, Devices, & Facts. URL: <https://www.britannica.com/science/semiconductor> (дата звернення: 03.04.2026).

256. What is a Semiconductor? Complete Guide with Types, Examples & Uses. 2025. URL: <https://www.allupost.com/blog/what-is-semiconductor-types-examples-uses/> (дата звернення: 04.12.2025).

257. What Is a Semiconductor and What Is It Used for?. URL: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/semiconductor> (дата звернення: 02.10.2025).

258. Напівпровідники, будова, види провідності . Електричний струм в напівпровідниках. Струми провідності . Електродинаміка. URL: <https://formula.kr.ua/elektrichniy-strum-v-napivprovidnikah/napivprovidnyky-budova-vydy-providnosti.html> (дата звернення: 24.03.2026).

259. Напівпровідники - визначення, види та застосування в техніці. URL:
<https://www.products.pcc.eu/uk/blog/напівпровідники-визначення-види-та/>
(дата звернення: 20.05.2025).

ДОДАТОК А

**Визначення поняття «цифрової економіки» міжнародними
організаціями**

Автор	Визначення
OECD [49]	Цифрова економіка - це поєднання технологій загального застосування та низки видів економічної та суспільної діяльності, що здійснюються користувачами інтернету за допомогою відповідних технологій. Цифрова економіка, таким чином, включає фізичну інфраструктуру, яку залучають цифрові технології (мережі, маршрутизатори), пристрої доступу (комп'ютери, смартфони), інформаційні системи (Google, Salesforce)
Британське комп'ютерне співтовариство, [50]	Цифрова економіка - це економіка, що базується на цифрових технологіях, проте більшою мірою розуміється під цим здійснення ділових операцій на ринках, що базуються в Інтернеті та світовій мережі
TechTarget, [51]	Цифрова економіка - це всесвітня мережа видів економічної діяльності, які стали доступними завдяки інформаційно-комунікаційним технологіям (ІКТ). Інакше кажучи, цифрову економіку можна визначити як економіку, що базується на цифрових технологіях
Oxford Dictionary, [52]	Цифрова економіка - це економіка, яка функціонує переважно за рахунок використання цифрових технологій, безготівкових операцій через інтернет

Джерело: складено автором.

ДОДАТОК Б

Ключові аспекти впливу високотехнологічного сектору на інноваційну економіку.

Характеристика	• Характер впливу
1. Наукоємність і динамізм високотехнологічних галузей	• Сучасні технології характеризуються високим рівнем інтеграції в економічні процеси, проте їх швидкий розвиток і часта заміна сприяють прискореному моральному старінню, що виявляється у скороченні їх життєвого циклу.
2. Швидкість поширення у всіх секторах економіки	• Високі технології становлять ядро інноваційної економіки і забезпечують підтримку традиційних технологій. Технологічний розвиток демонструє залежність: чим складніша технологія, тим більше супутніх технологій необхідно для її функціонування.
3. Галузева широта поширення	• Високі технології інтегруються не лише в інноваційно-виробничу сферу, а й у всі сфери економічної діяльності. Людина виступає активним учасником макротехнологічного процесу, споживаючи послуги, що надаються через ці технології.
4. Тривалість циклу «дослідження - розробки - виробництво - збут»	• Продовжений цикл наукових досліджень і розробок зменшує ринкові стимули, що може впливати на матеріальну зацікавленість у комерціалізації результатів досліджень.
5. Залежність від наукової та освітньої сфери	• Високі технології тісно пов'язані з рівнем розвитку науки і освіти, які відіграють ключову роль у формуванні та функціонуванні високотехнологічного виробництва.
6. Залежність від державної участі	• Фінансування досліджень і розробок у сфері високих технологій часто потребує значних державних інвестицій, що створює пряму залежність від державних корпорацій та субсидій.
7. Наявність високопотенційної технологічної і виробничої бази	• Високі технології залежать від наявності відповідної технологічної та виробничої інфраструктури, що включає сучасне обладнання та виробничі площі, необхідні для реалізації технологічних розробок.
8. Підвищений рівень ризику впровадження високих технологій	• Незрілість технологій призводить до високого рівня ризиків, пов'язаних з їх інтеграцією в економічні процеси, що може ускладнювати їх комерційне впровадження та адаптацію на ринку.

Джерело: складено автором за [53-58]

ДОДАТОК В

**Підходи вітчизняних і зарубіжних науковців до поняття
«високотехнологічний сектор»**

№	Автор (джерело)	Визначення
1	Карпик Я.М., Імнадзе І. Н. [22]	Високотехнологічний сектор являє собою сегмент економіки, у якому виробництво та реалізація продукції інтегровані з впровадженням передових наукових досягнень та інноваційних технологій. Цей ринок охоплює широкий спектр товарів і послуг, що базуються на використанні високотехнологічних рішень, включаючи інформаційні технології, біотехнології, нанотехнології, аерокосмічні розробки, новітні енергетичні системи та інші галузі, що визначають перспективи розвитку сучасного суспільства.
2	Прушківська Е. В., Ткачук А. М. [23]	Високотехнологічний сектор економіки представляє собою складову національної економіки, яка об'єднує галузі високотехнологічного матеріального виробництва та надання знаннєсмих послуг. Цей сектор відрізняється значними витратами на наукові дослідження та розробки, що становлять важливу частину кінцевої або доданої вартості продукції, залученням висококваліфікованих фахівців, а також активним використанням передових технологій. Його діяльність спрямована на створення нових продуктів і процесів, впровадження яких підвищує економічну ефективність та зміцнює конкурентні позиції країни на міжнародній арені.
3	Белов О. [24]	Високотехнологічний сектор включає ті галузі економіки, які характеризуються найвищим рівнем наукоємності виробництва. До таких галузей належать фармацевтична, інформаційна, космічна, хімічна та комп'ютерна промисловості, а також виробництво складного науково-дослідного і промислового обладнання, а також військових озброєнь.
4	Корсунова К. Ю. [25]	Високотехнологічний сектор - галузь, що вирізняється інтенсивним використанням інноваційних технологій та наукових досліджень для створення нових продуктів і послуг.
5	Прушківська Е. В., А. М. Ткачук [26]	Високотехнологічний сектор представляє собою сукупність галузей, що включають високотехнологічне матеріальне виробництво та надання високотехнологічних послуг.
6	М.С. Бгата [27]	Високотехнологічний сектор включає галузі, що займаються розробкою та виробництвом передових технологічних продуктів та послуг, включаючи штучний інтелект, біотехнології та передові обчислення. Він характеризується швидкими інноваціями та високими інвестиціями у НДДКР.

№	Автор (джерело)	Визначення
7	ZHAO Xing [28]	Сектор високих технологій визначається як галузі, які використовують передові технології для створення нових продуктів та послуг, що характеризуються високим рівнем інтелектуальної власності та діяльністю, що ґрунтується на знаннях.
8	Patel P.C [29]	Сектор високих технологій включає підприємства, які інтегрують передові технології у свої операції та продукти, прагнучи досягти значного підвищення ефективності та конкурентних переваг.
9	Lee, Y.-C [30]	Високотехнологічний сектор характеризується фокусом на інноваційно-орієнтованих галузях, включаючи інформаційні технології, робототехніку та чисту енергетику, які мають вирішальне значення для вирішення глобальних проблем та забезпечення сталого розвитку.
10	Е. О'Коннор [31]	Сектор високих технологій охоплює галузі, які фокусуються на передових технологічних рішеннях та інноваціях, зі значним акцентом на цифрову трансформацію, кібербезпеку та виробництво наступного покоління.

Джерело: узагальнено автором

ДОДАТОК Д

**Динаміка фінансових результатів ТОП-5 світових компаній
напівпровідникової промисловості в 2015-2024 рр., млн. дол. США**

Рік	NVIDIA	TSMC	Broadcom	ASML	QUALCOMM
Дохід					
2015	5010	26570,64	6824	6981,5	25 281
2016	6910	29256,5	13240	7519,07	23 554
2017	9714	32977,1	17636	10232,38	22258
2018	11716	33693,7	20848	12924,86	22611
2019	10918	35773,6	22597	13238,4	24273
2020	16675	47693,7	23888	15967,64	23531
2021	26914	57224,8	27450	22018,67	33566
2022	26974	73670,4	33203	22308,29	44200
2023	60922	70598,8	35819	29826,56	35820
2024	130497	88268	51574	30583,28	38962
<i>Темп приросту за 10 років</i>	<i>2504,73</i>	<i>232,20</i>	<i>655,77</i>	<i>338,06</i>	<i>54,12</i>
Собівартість реалізованої продукції					
2015	2199	13643,2	3271	3766,07	10 378
2016	2847	14601,1	7300	4150,05	9 749
2017	3892	16282,6	9127	5624,486	9792
2018	4545	17428,6	10115	6985,379	10244
2019	4150	19300,8	10114	7325,024	8599
2020	6279	22368,6	10372	8203,199	9255
2021	9439	27681,3	10606	10413,65	14262
2022	11618	29792,9	11108	11034,67	18635
2023	16621	32221,6	11129	14527,06	15869
2024	32639	38729,9	19065	14901,49	17060
<i>Темп приросту за 10 років</i>	<i>1384,27</i>	<i>183,88</i>	<i>482,85</i>	<i>295,68</i>	<i>64,39</i>
Валовий прибуток					
2015	2811	12927,44	3553	3215,4	14 903
2016	4063	14655,4	5940	3369,02	13 805
2017	5822	16694,5	8509	4607,894	12466
2018	7171	16265,1	10733	5939,485	12367
2019	6768	16472,8	12483	5913,376	15674
2020	10396	25325,1	13516	7764,441	14276
2021	17475	29543,5	16844	11605,03	19304
2022	15356	43877,5	22095	11273,63	25565
2023	44301	38377,2	24690	15299,5	19951
2024	97858	49538,1	32509	15681,79	21902
<i>Темп приросту за 10 років</i>	<i>3381,25</i>	<i>283,20</i>	<i>814,97</i>	<i>387,71</i>	<i>46,96</i>
Витрати на дослідження та розробки					
2015	1331	2064,654	1049	1185,9	5 490
2016	1463	2197,8	2674	1223,6	5 151
2017	1797	2723,8	3302	1423,839	5485
2018	2376	2806,1	3768	1861,138	5625
2019	2829	3056,5	4696	2204,72	5398
2020	3924	3899,1	4968	2513,974	5975
2021	5268	4496,6	4854	3013,356	7176
2022	7339	5312,9	4919	3427,888	8194
2023	8675	5955,9	5253	4308,204	8818
2024	12914	6227	9310	4657,034	8893
<i>Темп приросту за 10 років</i>	<i>870,25</i>	<i>201,60</i>	<i>787,51</i>	<i>292,70</i>	<i>61,99</i>
Комерційні, адміністративні та загальні витрати					
2015	602	722,04	486	383,9	2 344

2016	663	793,1	806	414,71	2 385
2017	815	916,6	789	470,883	2658
2018	991	857,7	1056	576,328	2986
2019	1093	938,9	1709	582,96	2195
2020	1940	1266,7	1935	622,439	2074
2021	2166	1603,7	1347	858,457	2339
2022	2440	2064,5	1382	996,6	2570
2023	2654	2333,9	1592	1204,816	2483
2024	3491	2954,8	4959	1261,404	2759
Темп приросту за 10 років	479,90	309,23	920,37	228,58	17,70
Операційні витрати					
2015	2064	2845,9	1921	1477,51	7 310
2016	2129	2990	6349	1534,58	9 127
2017	2612	3686,4	6138	1786,439	9885
2018	3367	3732,5	5598	2437,466	11746
2019	3922	4012	9039	2787,676	8007
2020	5864	5140,5	9502	3136,411	8021
2021	7434	6112,3	8325	3618,98	9515
2022	11132	7389,4	7870	4424,49	9705
2023	11329	8283,6	8483	5513,02	12163
2024	16405	9219,3	19046	5918,44	11831
Темп приросту за 10 років	694,82	223,95	891,46	300,57	61,85
Операційний прибуток					
2015	747	10081,51	1632	1737,93	6 495
2016	1934	11665,4	-409	1834,45	5 776
2017	3210	13008,1	2371	2821,455	2581
2018	3804	12532,6	5135	3502,02	621
2019	2846	12460,8	3444	3125,696	7667
2020	4532	20184,6	4014	4628,028	6255
2021	10041	23431,2	8519	7986,043	9789
2022	4224	36488,1	14225	6849,138	15860
2023	32972	30093,6	16207	9786,48	7788
2024	81453	40318,8	13463	9763,354	10071
Темп приросту за 10 років	10804,02	299,93	724,94	461,78	55,06
Прибуток до оподаткування					
2015	743	11038,51	1467	1719,59	6 833
2016	1905	11911,2	-1107	1871,68	6 487
2017	3196	13365,8	1825	2764,601	2987
2018	3896	12987,4	4545	3468,597	392
2019	2970	13034,5	2226	3097,696	7481
2020	4409	20824,3	2443	4588,162	5719
2021	9941	23901,8	6765	7933,277	10274
2022	4181	37229,8	12434	6802,147	14998
2023	33818	31982,9	9916	9831,072	7443
2024	84026	42874	15097	9784,781	10336
Темп приросту за 10 років	11209,02	288,40	929,11	469,02	51,27
Чистий прибуток					
2015	614	9657,076	1364	1540,32	5 705
2016	1666	10238,1	-1739	1628,79	5 271
2017	3047	11639,6	1692	2394,541	2445
2018	4141	11860,6	12259	3060,68	-4964
2019	2796	11833,8	2695	2903,376	4386
2020	4332	18188,9	2663	4059,392	5198
2021	9752	21354	6437	6960,414	9043
2022	4368	32311,2	11223	5925,657	12936
2023	29760	27816,5	14082	8484,149	7232
2024	72880	35327,2	5895	8193,229	10142
Темп приросту за 10 років	11769,71	265,82	332,18	431,92	77,77

Джерело: складено автором за [151-155]

ДОДАТОК Ж

**Вихідні дані для побудови економіко-математичної моделі
кількісної оцінки системних ризиків глобального ланцюга створення
вартості напівпровідникової індустрії.**

Глобальний ланцюг вартості напівпровідників характеризується безпрецедентною концентрацією виробництва у кількох критичних вузлах: 92% передових чіпів виробляє одна компанія (TSMC), 100% систем EUV-літографії постачає один виробник (ASML), а дуополія Synopsys та Cadence контролює понад 70% ринку засобів автоматизованого проєктування електроніки. Така структура створює системні вразливості, де збій в одному вузлі каскадно поширюється на весь ланцюг.

Для кількісної оцінки цих ризиків застосовано методологію «Вартість під ризиком» (VaR), адаптовану з фінансового ризик-менеджменту до аналізу виробничих ланцюгів вартості, з використанням симуляції Монте-Карло (500 000 ітерацій) та каскадного моделювання через матрицю поширення.

Параметри моделі:

$V = (V_1, V_2, \dots, V_6)$ - вектор обсягів вузлів ланцюга (млрд дол.)

λ_j - інтенсивність настання шоку типу j (раз/рік), параметр розподілу Пуассона

s_j - випадкова величина тяжкості шоку j (частка від обсягу вузла, від 0 до 1)

P - матриця каскадного поширення розмірності 6×6 , де p_{ij} - частка шоку з вузла i , що передається до вузла j

Кількість настань шоку типу j за один рік моделюється розподілом Пуассона:

$N_j \sim \text{Пуассона}(\lambda_j)$

Тяжкість кожного настання моделюється відповідним розподілом:

1) Пандемічний, природний, технологічний шоки: $s_j \sim \text{Лог-нормальний}(\mu, \sigma)$

2) Експортний контроль: $s_j \sim \text{Бета}(\alpha, \beta)$

3) Блокада Тайваню: $s_j \sim \text{Рівномірний}(0,4; 0,9)$

1. Каскадне поширення. Ефективна тяжкість у вузлі k обчислюється ітеративно (3 раунди каскаду):

$$s_k(\text{ефект.}) = \min(s_k(\text{прямий}) + \delta \cdot \sum_i s_i(\text{ефект.}) \cdot p_{ik}, 1)$$

де $\delta = 0,3$ - коефіцієнт демпфування (затухання каскаду). Верхня межа 1 гарантує, що тяжкість не перевищує 100% обсягу вузла.

2. Сукупні втрати:

$$L = \sum_{k=1}^6 V_k \cdot s_k(\text{ефект.})$$

3. Метрики ризику. З емпіричного розподілу L (500 000 значень) обчислюються:

$$\text{VaR}(\alpha) = F^{-1}(\alpha) - \alpha\text{-квантиль розподілу втрат}$$

$$\text{ES}(\alpha) = E[L \mid L \geq \text{VaR}(\alpha)] - \text{очікуваний дефіцит}$$

$\text{VaR}(95\%)$ інтерпретується: з імовірністю 95% річні втрати ланцюга вартості не перевищать дане значення. $\text{ES}(95\%)$ - середня величина втрат у найгірших 5% сценаріїв.

Таблиця Ж.1 - Вузли ланцюга вартості напівпровідників та рівні концентрації

Вузол	Ключовий гравець	Обсяг, млрд \$	Частка топ-1	Джерело
1. Дослідження та розробки (ДіР)	Консорціуми	80,0	~15%	SIA; річні звіти
2. Автоматизоване проектування (САПЕ)	Synopsys, Cadence	16,5	31% / 30%	Precedence Research 2025
3. Обладнання для виробництва	ASML (EUV - монополія)	110,0	100% (EUV)	ASML Annual Report
4. Виробництво (ливарне)	TSMC	130,0	50% / 92% (передові)	TSMC 10-K; SIA
5. Складання та тестування (OSAT)	ASE Technology	46,0	~18%	Market Growth Reports

6. Кінцевий продукт	Apple, Samsung та ін.	409,5	Розподілений	SIA 2025
---------------------	-----------------------------	-------	--------------	----------

Таблиця Ж.2 - Параметри ризикових подій для симуляції Монте-Карло

Тип шоку	λ (р/рік)	Розподіл	Параметри	Тяжкість	Джерело калібрування
Пандемічний шок	0,05	Лог- нормальний	$\mu=\ln(0,20);$ $\sigma=0,5$	9-46%	AlixPartners 2021
Експортний контроль / санкції	0,40	Бета	$\alpha=2; \beta=5$	6-58%	Хронологія 2019-2025
Землетрус М6+ (Тайвань)	0,80	Лог- нормальний	$\mu=\ln(0,02);$ $\sigma=0,6$	1-5%	USGS; TSMC 2024/2025
Землетрус М7+ (Тайвань)	0,20	Лог- нормальний	$\mu=\ln(0,08);$ $\sigma=0,5$	4-18%	USGS; TSMC 2024
Блокада Тайваню	0,03	Рівномірний	[0,4; 0,9]	40-90%	Bloomberg; Rhodium; IEP
Переривання матеріалів (неон)	0,15	Лог- нормальний	$\mu=\ln(0,08);$ $\sigma=0,4$	4-16%	Розділ 3.3 дисертації
Технологічний збій	0,30	Лог- нормальний	$\mu=\ln(0,10);$ $\sigma=0,5$	4-23%	Samsung 14nm; Intel 10nm

Для формалізації каскадних залежностей між вузлами побудовано зважений орієнтований граф ланцюга вартості. Розмір кожного вузла пропорційний обсягу сегменту, товщина ребра - силі каскадного зв'язку. Червоні ребра позначають критичні залежності (коефіцієнт поширення $> 0,5$).

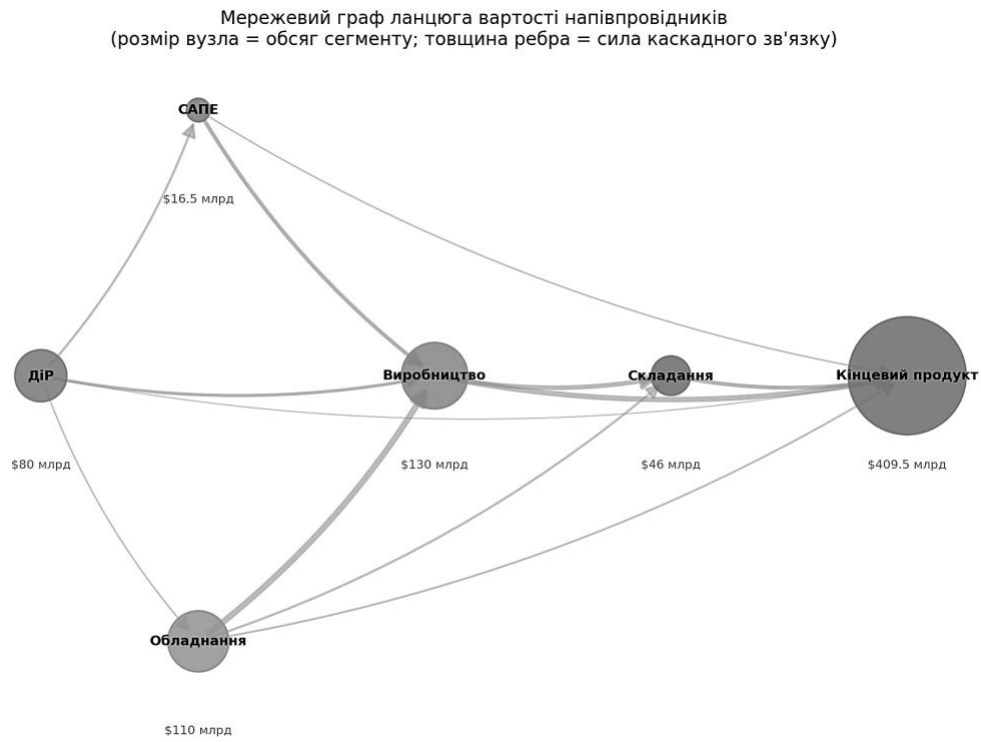


Рисунок Ж.1 - Мережевий граф ланцюга вартості напівпровідників

Матриця каскадного поширення P калібрована на основі структури галузі: найсильніші зв'язки - від обладнання до виробництва ($p_{34} = 0,80$, оскільки ASML є єдиним постачальником EUV для TSMC) та від виробництва до кінцевого продукту ($p_{46} = 0,70$).

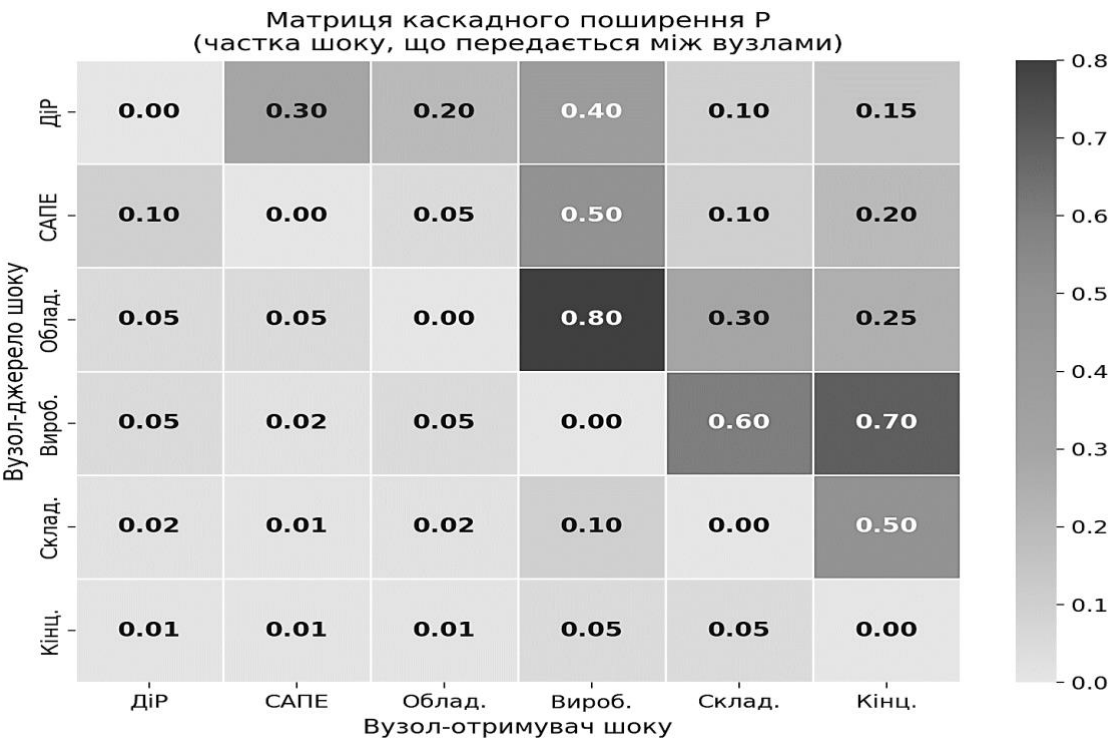


Рисунок Ж.2 - Теплова карта матриці каскадного поширення Р

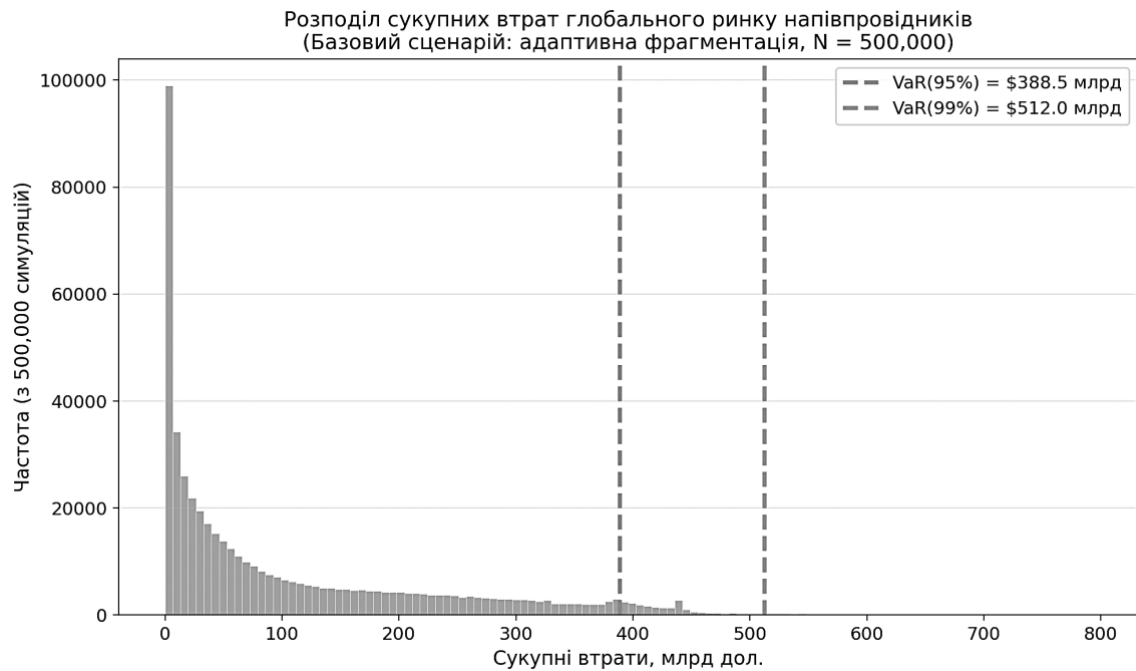


Рисунок Ж.3 - Розподіл сукупних втрат (базовий сценарій, N = 500 000)

Розподіл сукупних втрат має виражену правосторонню асиметрію, що характерно для операційних ризиків: більшість сценаріїв передбачають помірні втрати, проте «хвіст» розподілу містить катастрофічні сценарії з втратами до 792 млрд дол. (повна зупинка ланцюга).

Таблиця Ж.3 - Зведені метрики ризику за трьома сценаріями (N = 500 000; у дужках - % від обсягу ринку 792 млрд дол.)

Метрика	Інноваційно-інтеграційний	Адаптивна фрагментація	Геополітичний розрив
Середні втрати, млрд дол.	40,4	111,5	206,6
VaR(95%), млрд дол.	198,8 (25,1%)	388,5 (49,1%)	473,8 (59,8%)
VaR(99%), млрд дол.	316,0 (39,9%)	512,0 (64,7%)	717,6 (90,6%)
Очікуваний дефіцит ES(95%), млрд дол.	271,4	463,9	609,9
Максимальні втрати, млрд дол.	737,8	792,0	792,0

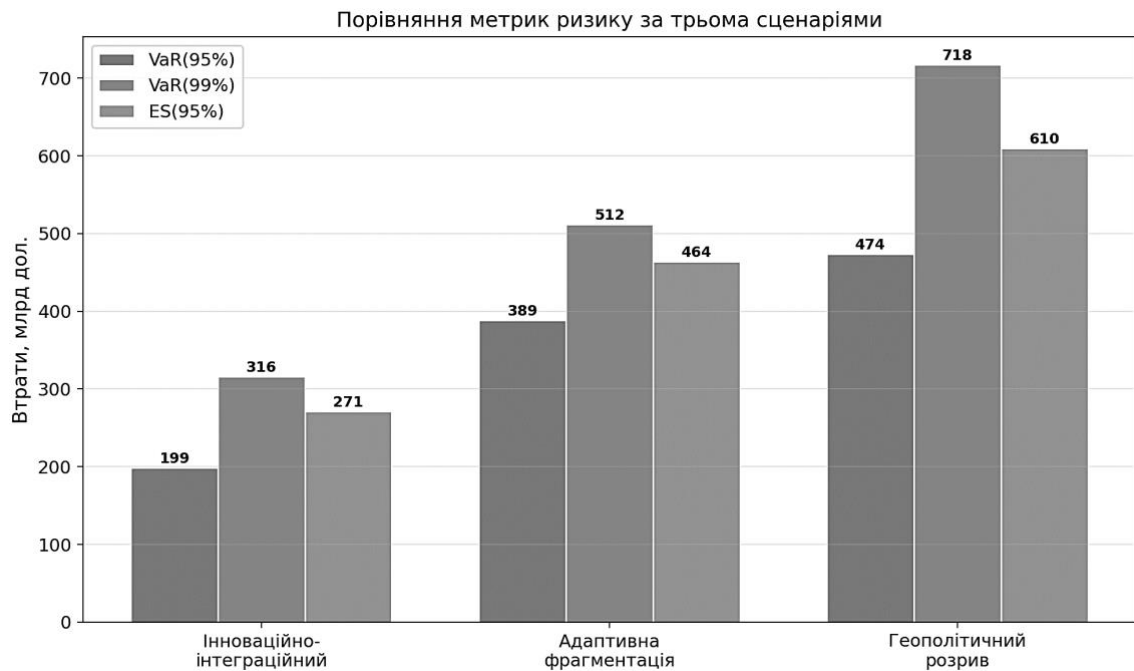


Рисунок Ж.4 - Порівняння метрик ризику за трьома сценаріями

Інтерпретація результатів:

1. Базовий сценарій (адаптивна фрагментація): з імовірністю 95% річні втрати глобального ринку не перевищать 388,5 млрд дол. (49,1% ринку). У найгірших 5% сценаріїв середні втрати сягають 463,9 млрд дол. $VaR(99\%) = 512,0$ млрд дол. (64,7%).

2. Інноваційно-інтеграційний сценарій: зниження міжнародних бар'єрів та посилення кооперації зменшують $VaR(95\%)$ до 198,8 млрд дол. (25,1%) - майже удвічі порівняно з базовим. Це кількісне обґрунтування цінності міжнародної кооперації.

3. Геополітичний розрив: $VaR(99\%)$ сягає 717,6 млрд дол. (90,6% ринку), що наближається до повного колапсу ланцюга. Ці цифри узгоджуються з оцінками Bloomberg Economics (глобальний ВВП -5,3%) та IEP (2,7 трлн дол. при блокаді).

Для обґрунтування достатності кількості ітерацій побудовано графік збіжності метрик ризику при поступовому збільшенні N від 100 до 500 000. Стабілізація значень підтверджує статистичну надійність результатів.

Аналіз збіжності метрик ризику при збільшенні N
(фінальне N = 500,000)

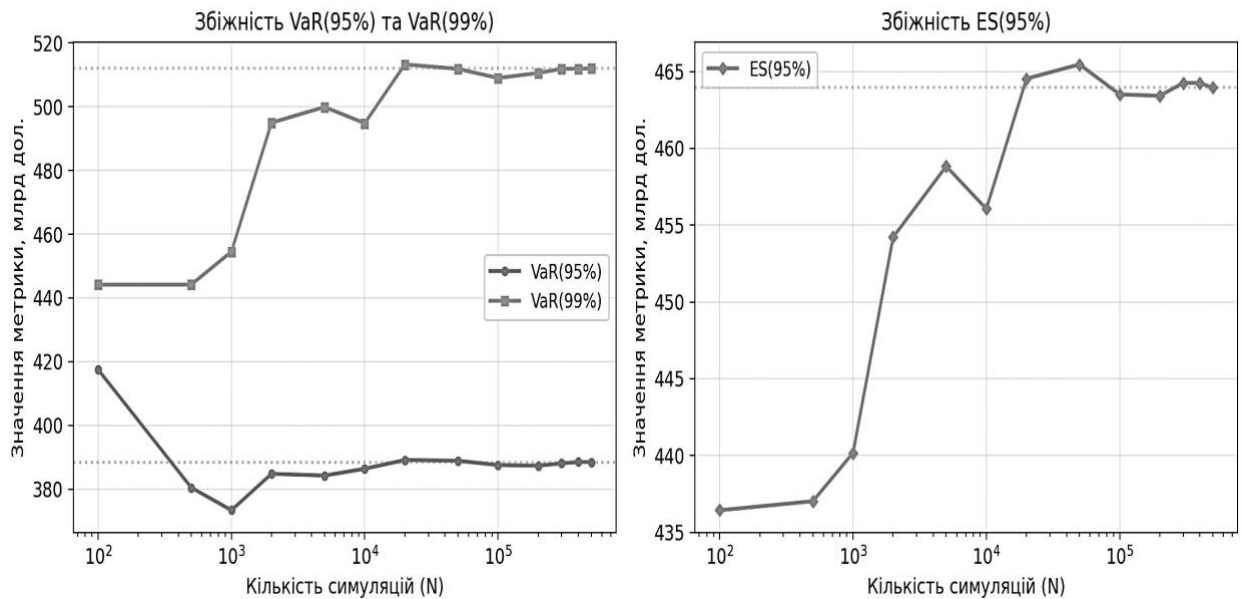


Рисунок Ж.5 - Збіжність метрик ризику при збільшенні кількості симуляцій

Таблиця Ж.4 - Збіжність метрик при різних кількості ітерацій

VaR(95%)	386,4 млрд	387,6 млрд	388,5 млрд	0,54%
VaR(99%)	494,8 млрд	509,0 млрд	512,0 млрд	3,37%
ES(95%)	456,1 млрд	463,5 млрд	463,9 млрд	1,70%

Аналіз збіжності демонструє, що при $N = 10\,000$ метрика $\text{VaR}(99\%)$ була занижена на 3,37% (494,8 проти 512,0 млрд дол.), що є суттєвим для хвостових ризиків. При $N = 100\,000$ відхилення зменшується до 0,60%, а при $N = 500\,000$ значення повністю стабілізуються. Це підтверджує необхідність використання великої кількості симуляцій для точної оцінки екстремальних квантилів, особливо $\text{VaR}(99\%)$ та $\text{ES}(99\%)$, які формуються рідкісними, але катастрофічними подіями (зокрема, блокадою Тайваню з $\lambda = 0,03$).

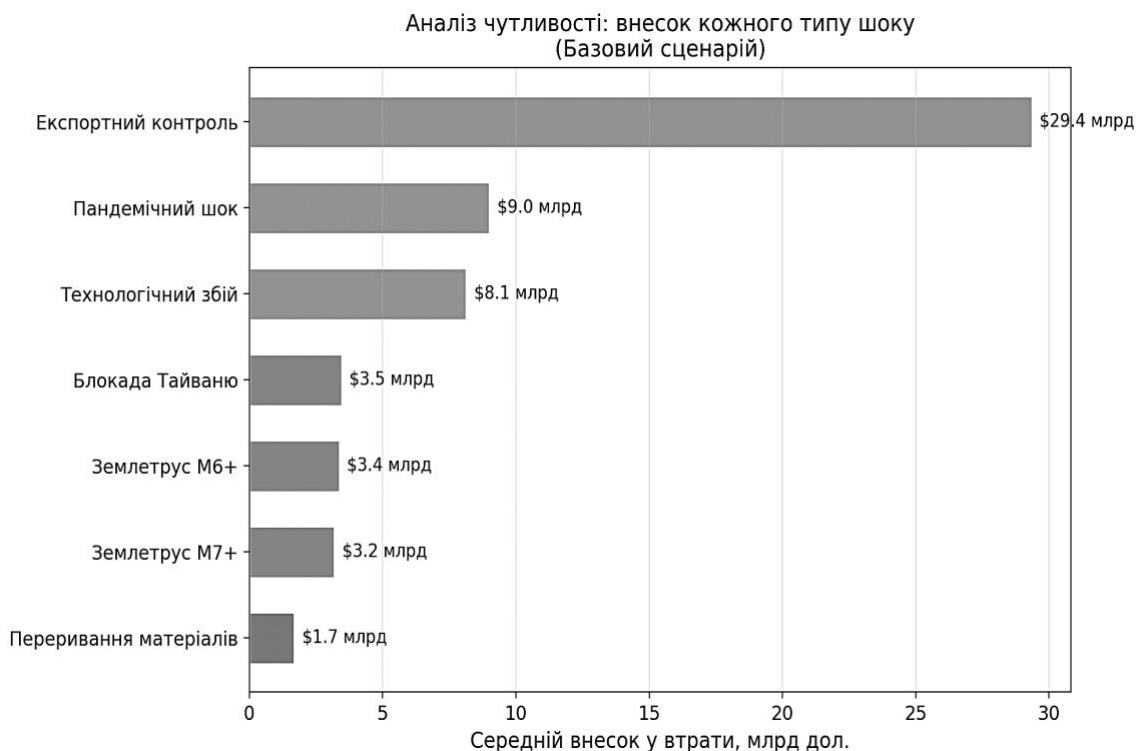


Рис. Ж.6 - Торнадо-діаграма: внесок кожного типу шоку у середні втрати

Найбільший внесок у ризик генерують експортний контроль та технологічні збої - шоки з високою частотою настання. Блокада Тайваню, попри низьку імовірність, характеризується екстремальною тяжкістю і формує «хвіст» розподілу.

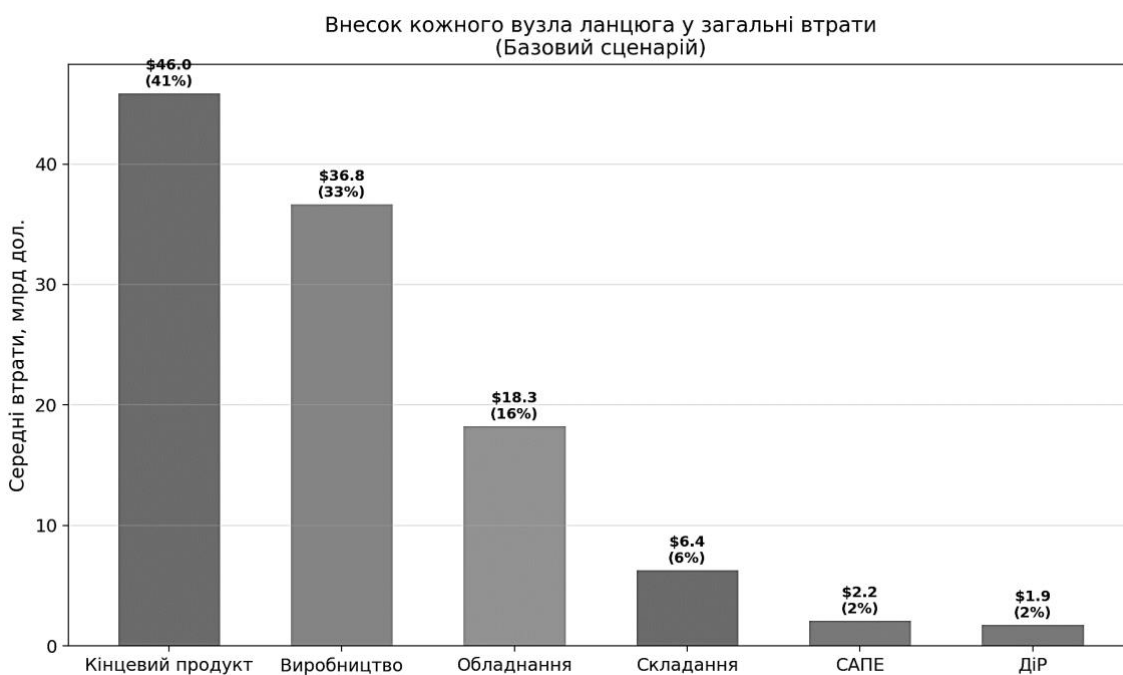


Рисунок Ж.7 - Внесок кожного вузла у загальні втрати (базовий сценарій)

Обмеженнями моделі є:

1. Параметри розподілів шоків калібровані на обмеженій історичній вибірці та частково на експертних оцінках.
2. Матриця поширення P є статичною та не враховує адаптацію учасників ланцюга у реальному часі.
3. Модель не враховує кореляцію між шоками (геополітична напруженість може одночасно збільшити імовірність і експортного контролю, і блокади).
4. Часовий горизонт обмежено одним роком; для довгострокових сценаріїв необхідне динамічне моделювання.

Таким чином, можемо зробити висновок, що:

1. Кількісно підтверджено тезу про «озброєну взаємозалежність» глобальних ланцюгів вартості: $VaR(95\%)$ у базовому сценарії складає 388,5 млрд дол. (49,1% ринку), що означає - з імовірністю 5% щорічні втрати можуть перевищити половину обсягу глобального ринку.
2. Сценарій геополітичного розриву є катастрофічним: $VaR(99\%) = 717,6$ млрд дол. (90,6% ринку). Це підтверджує, що ізоляція технологічних блоків призводить до майже повного колапсу ланцюга вартості.
3. Міжнародна кооперація має вимірюваний ефект: перехід від базового до інноваційно-інтеграційного сценарію знижує $VaR(95\%)$ на 189,7 млрд дол. (з 388,5 до 198,8 млрд).
4. Вузли «Виробництво» (TSMC) та «Обладнання» (ASML) є критичними точками вразливості з найвищими показниками центральності у мережевому графі та найсильнішими каскадними ефектами.
5. Аналіз збіжності підтвердив, що $N = 500\,000$ симуляцій забезпечує статистично надійні результати: відхилення $VaR(99\%)$ при $N = 10\,000$ складало 3,37%, тоді як при $N = 500\,000$ значення повністю стабілізовані.

Вперше застосовано методологію «Вартість під ризиком» із симуляцією Монте-Карло (500 000 ітерацій) та каскадним мережевим моделюванням до глобальних ланцюгів вартості напівпровідників. Модель формалізує каскадні залежності між шістьма вузлами ланцюга через матрицю поширення P , інтегрує сім типів ризикових подій із верифікованими параметрами (AlixPartners, USGS, Bloomberg Economics, Rhodium Group, IEP), кількісно обґрунтовує три сценарії розвитку ринку та є масштабованою для застосування до інших критичних ланцюгів вартості.

ДОДАТОК И

Класифікація напівпровідників та напівпровідникових матеріалів

Рівень класифікації	Група	Підгрупа	Характеристика	Приклади
1. Напівпровідникові матеріали	Елементарні (прості)	Si, Ge, Se	Матеріали, що складаються з атомів одного хімічного елемента. Матеріали мають кристалічну структуру. Вони є основою для більшості електронних компонентів. Особливо кремній, що використовується у виробництві мікросхем	Кремнієві пластини, чіпи, транзистори
	Складні (сполуки)	GaAs, InP, SiC, GaN	Утворені з кількох елементів. Відзначаються покращеними електричними, тепловими та оптичними властивостями. Дані властивості роблять їх придатними для високочастотної та оптоелектронної техніки	ВЧ-прилади, лазери, світлодіоди
	Органічні	полімерні напівпровідники	Матеріали на основі органічних сполук, що здатні проводити струм. Вони характеризуються гнучкістю та можливістю створення тонких плівок	OLED-дисплеї, гнучка електроніка
2. За ступенем чистоти	Власні (чисті)	без домішок	Напівпровідники без введених домішок. Вони мають низьку електропровідність, що під дією температури або випромінювання зростає	базові кристали для мікросхем
	Домішкові (леговані)	n-тип, р-тип	Отримуються шляхом введення домішок (легування). В результаті істотно підвищується провідність і можливо керувати електричними властивостями	всі активні електронні компоненти
3. За типом провідності	n-тип	електронна провідність	Провідність забезпечується вільними електронами, які з'являються після введення донорних домішок	транзистори, діоди
	p-тип	діркова провідність	Основними носіями заряду є «дірки», що виникають при введенні акцепторних домішок; формують p-n переходи	p-n переходи, фотодіоди
4. Напівпровідникові прилади	Двохелектродні	діоди	Прилади з двома електродами, що пропускають струм переважно в одному	випрямні, стабілітрони, світлодіоди

			напрямку. Вони базуються на р-n переході	
	Трьохелектродні	транзистори	Пристрої з трьома електродами, що виконують функції підсилення або перемикання електричних сигналів	біполярні (npn, pnp), польові
	Багатоелектродні	тиристори, симістори	Складні прилади для керування великими струмами; використовуються у силових електронних схемах	силова електроніка
5. Інтегровані вироби	Інтегральні схеми (IC)	аналогові, цифрові	Сукупність великої кількості елементів (транзисторів, діодів), що інтегровані на одному кристалі і створені з метою обробки сигналів	мікропроцесори, пам'ять
	Мікроелектроніка	SoC, мікроконтролери	Комплексні мікросистеми, що поєднують обчислювальні, керуючі та комунікаційні функції в одному чіпі	смартфони, ПК
6. Оптикоелектронні вироби	Світло-випромінюючі	LED, лазери	Пристрої, що перетворюють електричну енергію на світлове випромінювання. Використовуються в освітленні та передачі даних	освітлення, дисплеї
	Світлочутливі	фотодіоди, фототранзистори	Прилади, які реагують на світло, перетворюючи його в електричний сигнал. Використовуються переважно в сенсорних системах	сенсори, камери
7. Силова електроніка	Силові прилади	силові діоди, IGBT	Напівпровідникові пристрої, здатні працювати з високими напругами та струмами. Напівпровідникові пристрої застосовуються в енергетичних системах	інвертори, джерела живлення
8. Спеціалізовані вироби	Датчики	газові, температурні	Пристрої, що змінюють електричні параметри під впливом зовнішніх факторів (температура, гази, світло)	промислові сенсори
	Мікро- та наноелектроніка	MEMS, наночіпи	Мініатюрні системи з високим рівнем інтеграції, що поєднують механічні та електронні компоненти	сучасні IoT-пристрої

Джерело: узагальнено автором на основі [245-249].

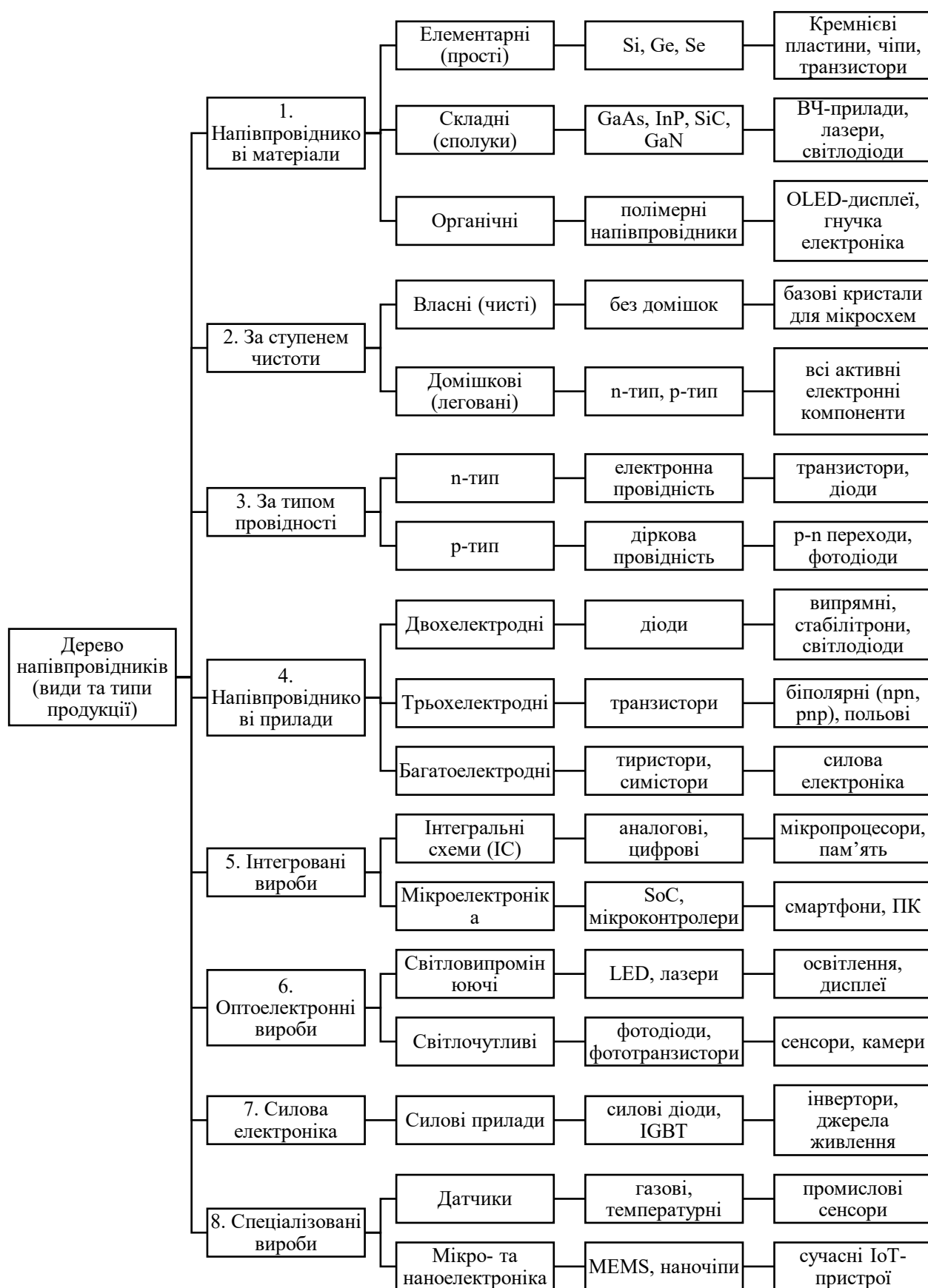


Рис. 3.1 - Дерево напівпровідників (види та типи продукції) [245-249]

ДОДАТОК К

**ТОП-30 світових компаній напівпровідникової промисловості за рівнем
ринкової капіталізації**

Рейтинг	Назва компанії	Ринкова капіталізація, млрд. дол. США	Питома вага компанії в світі, %	Чисельність працівників, тис. осіб	Країна
1	NVIDIA	3462	38,61	36	США
2	Broadcom	1169	13,04	37	США
3	TSMC	1094	12,20	-	Тайвань
4	ASML	300,42	3,35	43,1	Нідерланди
5	Samsung	287,17	3,20	-	Південна Корея
6	AMD	188,34	2,10	28	США
7	Texas Instruments	177,15	1,98	34	США
8	QUALCOMM	169,88	1,89	49	США
9	Arm Holdings	143,58	1,60	8,3	США
10	Applied Materials	136,89	1,53	36	Великобританія
11	Micron Technology	129,19	1,44	48	США
12	SK Hynix	119,08	1,33	-	США
13	KLA	114,74	1,28	15	Південна Корея
14	Lam Research	114,5	1,28	18,6	США
15	Analog Devices	111,67	1,25	24	США
16	Intel	87,85	0,98	108,9	США
17	Tokyo Electron	75,68	0,84	17,7	США
18	Synopsys	74,3	0,83	20	Японія
19	MediaTek	69,34	0,77	-	США
20	Marvell Technology	57,93	0,65	7	Тайвань
21	SMIC	53,44	0,60	19,2	США
22	NXP Semiconductors	53,27	0,59	33,1	Китай
23	Infineon	53,17	0,59	57,4	Нідерланди
24	Advantest	43,31	0,48	6,8	Німеччина
25	Microchip Technology	35,45	0,40	19,4	Японія
26	Cambricon Technologies	35,16	0,39	0,98	США
27	Monolithic Power Systems	32,22	0,36	4	Китай
28	NAURA Technology Group	30,54	0,34	16,4	США
29	ASM International	30,04	0,34	4,6	Китай
30	ST Microelectronic	26,43	0,29	49,6	Нідерланди
	Всього ТОП-30	8475,74	94,53		
142	Всього	8966		1199,9	

Джерело: складено автором за [148]

ДОДАТОК Л

ТОП-30 світових компаній напівпровідникової галузі за рівнем чистого прибутку

Рейтинг за чистим прибутком	Назва компанії	Чистий прибуток, млрд. дол. США	Питома вага компанії в світових доходах компаній, %
1	NVIDIA	88,9	31,01
2	TSMC	42,91	14,97
3	Samsung	27,89	9,73
4	SK Hynix	23	8,02
5	Broadcom	17,96	6,26
6	QUALCOMM	12,28	4,28
7	ASML	11,33	3,95
8	Applied Materials	8,55	2,98
9	Micron Technology	6,65	2,32
10	Texas Instruments	5,95	2,08
11	Lam Research	5,33	1,86
12	KLA	4,26	1,49
13	MediaTek	3,64	1,27
14	NXP Semiconductors	3,34	1,16
15	Tokyo Electron	3,22	1,12
16	AMD	2,83	0,99
17	Renesas Electronics	2,38	0,83
18	Analog Devices	2,31	0,81
19	Infineon	1,86	0,65
20	United Micro-electronics	1,7	0,59
21	STMicro-electronics	1,57	0,55
22	Synopsys	1,53	0,53
23	ASE Group	1,34	0,47
24	SMIC	0,98	0,34
25	NAURA Technology Group	0,97	0,34
26	ASM International	0,94	0,33
27	Arm Holdings	0,83	0,29
28	Disco Corp.	0,77	0,27
29	Novatek Microelectronics	0,75	0,26
30	ON Semiconductor	0,73	0,25
	Всього ТОП-30	286,7	100,00
142	Дані відсутні		

Джерело: складено автором за [150]

ДОДАТОК М

**Динаміка доходів, витрат на дослідження та розробки і чистого прибутку
галузі за 2015-2024 рр.**

Рік	NVIDIA	TSMC	Broadcom	ASML	QUALCOMM
Дохід					
2015	5010	26570,64	6824	6981,5	25 281
2016	6910	29256,5	13240	7519,07	23 554
2017	9714	32977,1	17636	10232,38	22258
2018	11716	33693,7	20848	12924,86	22611
2019	10918	35773,6	22597	13238,4	24273
2020	16675	47693,7	23888	15967,64	23531
2021	26914	57224,8	27450	22018,67	33566
2022	26974	73670,4	33203	22308,29	44200
2023	60922	70598,8	35819	29826,56	35820
2024	130497	88268	51574	30583,28	38962
<i>Темп приросту за 10 років</i>	<i>2504,73</i>	<i>232,20</i>	<i>655,77</i>	<i>338,06</i>	<i>54,12</i>
Валовий прибуток					
2015	2811	12927,44	3553	3215,4	14 903
2016	4063	14655,4	5940	3369,02	13 805
2017	5822	16694,5	8509	4607,894	12466
2018	7171	16265,1	10733	5939,485	12367
2019	6768	16472,8	12483	5913,376	15674
2020	10396	25325,1	13516	7764,441	14276
2021	17475	29543,5	16844	11605,03	19304
2022	15356	43877,5	22095	11273,63	25565
2023	44301	38377,2	24690	15299,5	19951
2024	97858	49538,1	32509	15681,79	21902
Рік	NVIDIA	TSMC	Broadcom	ASML	QUALCOMM
<i>Темп приросту за 10 років</i>	<i>3381,25</i>	<i>283,20</i>	<i>814,97</i>	<i>387,71</i>	<i>46,96</i>
Витрати на дослідження та розробки					
2015	1331	2064,654	1049	1185,9	5 490
2016	1463	2197,8	2674	1223,6	5 151
2017	1797	2723,8	3302	1423,839	5485
2018	2376	2806,1	3768	1861,138	5625
2019	2829	3056,5	4696	2204,72	5398
2020	3924	3899,1	4968	2513,974	5975
2021	5268	4496,6	4854	3013,356	7176
2022	7339	5312,9	4919	3427,888	8194
2023	8675	5955,9	5253	4308,204	8818
2024	12914	6227	9310	4657,034	8893
<i>Темп приросту за 10 років</i>	<i>870,25</i>	<i>201,60</i>	<i>787,51</i>	<i>292,70</i>	<i>61,99</i>
Чистий прибуток					
2015	614	9657,076	1364	1540,32	5 705
2016	1666	10238,1	-1739	1628,79	5 271
2017	3047	11639,6	1692	2394,541	2445
2018	4141	11860,6	12259	3060,68	-4964
2019	2796	11833,8	2695	2903,376	4386
2020	4332	18188,9	2663	4059,392	5198
2021	9752	21354	6437	6960,414	9043
2022	4368	32311,2	11223	5925,657	12936
2023	29760	27816,5	14082	8484,149	7232
2024	72880	35327,2	5895	8193,229	10142
<i>Темп приросту за 10 років</i>	<i>11769,71</i>	<i>265,82</i>	<i>332,18</i>	<i>431,92</i>	<i>77,77</i>

Джерело: складено автором за [150]

ДОДАТОК Н

**Угоди злиття та поглинання у напівпровідниковій промисловості за
2016-2024 рр.**

Рік	Компанія-покупець	Компанія-об'єкт придбання	Сума угоди (млрд дол. США)	Мета/результат
2016	ON Semiconductor	Fairchild Semiconductor	2,4	Посилення в енергоефективних рішеннях, аналогових технологіях та електронних компонентах.
2018*	Qualcomm	NXP Semiconductors	44 (*угода зірвалась)	Намагання посилити позиції у сфері авто та IoT; не реалізовано через регуляторні бар'єри.
2020	NVIDIA	ARM	40	Спроба отримати контроль над архітектурою ARM для зміцнення позицій у сфері мобільних пристроїв, IoT та III; угода не реалізована через антимонопольний спротив.
2020	AMD	Xilinx	35	Диверсифікація продуктового портфеля, посилення позицій у високопродуктивних обчисленнях, FPGA та ринку дата-центрів.
2020	Analog Devices	Maxim	21	Розширення асортименту аналогових напівпровідників, зміцнення інженерної бази та збільшення глобального охоплення.
Рік	Компанія-покупець	Компанія-об'єкт придбання	Сума угоди (млрд дол. США)	Мета/результат
2020	Infineon Technologies	Cypress Semiconductor	10	Посилення у галузі IoT та автомобільних технологій, розширення вбудованих систем і сенсорів.
2021	Renesas Electronics	Dialog Semiconductor	6	Розширення портфеля у сфері енергозбереження та IoT, підтримка інновацій у «розумних» пристроях.
2022	Renesas Electronics	Steradian Semiconductors	6,08 млрд єн	Розвиток радарних технологій для автономного транспорту і ADAS.
2022	Intel	Tower Semiconductor	5.4	Розширення виробничих потужностей, підтримка фабрикаційних сервісів і подолання дефіциту чипів.
2022	AEM	Central Semiconductor	Вартість угоди не відома	Об'єднання досвіду в енергетичному кондиціонуванні та захисті ланцюгів.
2022	AMD	Xilinx	49	Посилення позицій у сфері адаптивних обчислень, розширення ринку в центрах обробки даних, телекомі та автоіндустрії.
2021	Marvell Technology	Inphi	10	Розширення в сфері дата-центрів та інфраструктури 5G.
2021	Analog Devices	Maxim Integrated	21	Об'єднання інженерних ресурсів, зміна патентного ландшафту, глобальне розширення.
2023	MACOM	OMMIC SAS	0,417	Заснування Європейського центру на основі GaAs і GaN MMICs у Парижі.

2023	Allegro MicroSystems	Crocus Technology	0,420	Розширення через TMR сенсори для авто та IoT.
2024	Synopsys	Ansys	35	Розширення EDA інструментів у напрямі симуляції і AI моделювання.
2024	Renesas Electronics	Transphorm	0,339	Інтеграція GaN технологій для низького енергоспоживання та потужності.
2024	Renesas	Altium	Вартість угоди не відома	Розширення інструментів електронного дизайну (EDA), зміцнення позицій у розробці друкованих плат.
2024	SoftBank Group	Ampere Computing	6,5	Покращення штучного інтелекту та серверних процесорів.
2024	AMD	Silo AI	0,665	Підтримка AI стратегії, розвиток LLMs та інфраструктури.
2024	Infosys	Insemi	≈0,038 (₹280 крорі)	Підтримка chip-to-cloud стратегії, дизайн-сервіси для AI/5G.
2024	Accenture	ExcelMax Technologies	≈0,048 (₹350 крорі)	Розширення VLSI/embedded дизайну для телеком, авто, хмарних обчислень.

Джерело: складено автором за [157-168]

ДОДАТОК П

**Розгорнута порівняльна характеристика трьох сценаріїв розвитку
глобального ринку напівпровідників до 2030 року**

Критерій	Інноваційно-інтеграційний сценарій	Сценарій адаптивної фрагментації	Сценарій геополітичного розриву
1	2	3	4
Загальна характеристика	Керований структурний розвиток із високим рівнем міжнародної кооперації та синхронізацією попиту і пропозиції	Зростання за умов збереження тарифних і регуляторних обмежень при підвищеній гнучкості ланцюгів постачання	Фрагментація світового ринку на окремі технологічні блоки з обмеженим обміном технологіями
Обсяг світового ринку у 2030 р.	1,0 трлн дол. США	950-1000 млрд дол. США	850-900 млрд дол. США
Середньорічний темп зростання (CAGR)	6,5-7,5 %	5,5-6,5 %	4,0-5,0 %
Ключові драйвери попиту	III, машинне навчання, центри обробки даних, 5G, IoT, електромобілі, ADAS	Автомобільна електрифікація, III, дата-центри, регіональні програми цифровізації	Оборонна промисловість, національні програми технологічного суверенітету
Інвестиційна активність	Висока, з орієнтацією на передові фабрики та ДіР	Селективна, спрямована на регіональні хаби та зниження ризиків	Обмежена, з концентрацією в межах національних програм

Технологічний фокус	HBM, SoC нового покоління, SiC, GaN, інтеграція логіки та пам'яті	Передові силові напівпровідники, автомобільні SoC, оптимізація зрілих технічних процесів	Критичні технології з обмеженим доступом, локальні альтернативи передовим чіпам
Стан ланцюгів постачання	Висока взаємопов'язаність, зменшення дефіцитів, скорочення строків виконання замовлень	Часткова регіоналізація, диверсифікація виробничих і логістичних вузлів	Жорстка регіоналізація, хронічні затримки та збої постачань
Географічна структура виробництва	Збалансований розподіл між США, Південною Кореєю, Тайванем, Європою та Китаєм	Посилення ролі Південно-Східної Азії, Індії, Близького Сходу та Африки	Домінування регіональних блоків із локалізованим виробництвом

Регуляторне середовище	Пом'якшення торговельних бар'єрів, узгодження технічних стандартів	Збереження тарифів і експортного контролю за умов адаптації бізнесу	Посилення тарифів, жорсткий експортний контроль і політизація ринку
Цінова динаміка	Помірне зростання цін, відносна стабільність маржі	Підвищена волатильність цін і нерівномірна прибутковість	Стійкий тиск на ціни та зростання собівартості
Загальний вплив на галузь	Формування довгостроково стійкої та інноваційно орієнтованої моделі розвитку	Компроміс між зростанням і ризиками, підвищена адаптивність компаній	Сповільнення інновацій і зниження ефективності глобального ринку

Джерело: узагальнено автором

ДОДАТОК Р

Класифікація видів економічної діяльності (КВЕД-2010)
напівпровідникової галузі України

Клас за КВЕД	Назва виду економічної діяльності
1	2
26.11	Виробництво електронних компонентів. Даний клас об'єднує види промислової діяльності, пов'язані з виготовленням напівпровідникових виробів та інших базових компонентів, що використовуються у складі електронних приладів і систем. До групи належать процеси виробництва електронних конденсаторів і резисторів, мікропроцесорів, електронно-променевих трубок, електронних з'єднувачів, порожніх друкованих плат. Окрему частину класу становить виготовлення інтегральних мікросхем різних типів (аналогових, цифрових і гібридних), діодів, транзисторів та інших напівпровідникових приладів. Також включено виробництво індуктивних елементів, електронних кристалів і їх структурних складових, соленоїдів, перемикачів і сенсорних перетворювачів. До класу віднесено оброблення напівпровідникових пластин, розрізання на кристали, виготовлення компонентів дисплейних технологій (плазмових, полімерних, рідкокристалічних) і світло-випромінюючих діодів (LED).
26.12	Виробництво змонтованих електронних плат. Клас охоплює діяльність, пов'язану зі складанням та монтажем електронних компонентів на друковані схемні плати. До нього належить виготовлення змонтованих друкованих плат, компонентів завантаження для таких плат, інтерфейсних карт різного призначення, включаючи звукові, відео-, керуючі, мережеві та модемні рішення.
46.52	Оптова торгівля електронним і телекомунікаційним устаткуванням та його складовими. Даний клас включає операції з оптового продажу електронних і телекомунікаційних пристроїв, комплектуючих до них. У межах цього виду діяльності здійснюється торгівля електронними клапанами та трубками, напівпровідниковими приладами, мікročіпами, інтегральними мікросхемами, друкованими електронними платами, незаписаними носіями інформації, телефонним і комунікаційним обладнанням.

Джерело: складено автором за[222]

ДОДАТОК С

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях України:

1. Барабась Д., Ільницький Д., Андрусик В. Штучний інтелект в системі детермінант конкурентоспроможності сучасного бізнесу. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2024. № 6(336). С. 454-460. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-336-70>. 0.8 д.а., особисто автору належить 0.15 д.а., обгрунтовано роль напівпровідникової індустрії в системі детермінант конкурентоспроможності сучасного бізнесу.
2. Андрусик В. Конкурентна боротьба за високотехнологічне лідерство: глобальний вимір ринку напівпровідників. *Вісник Академії праці, соціальних відносин і туризму. Сер.: економіка, психологія та управління*. 2025. № 5. DOI: <https://doi.org/10.54929/3041-2390-2025-05-01-13>. 0.95 д.а.
3. Андрусик В.В. Інституційна трансформація конкурентної взаємодії на глобальному ринку напівпровідників: від ринкового до державно-стратегічного режиму організації галузі. *Інноваційна економіка*. 2026. № 1. С. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2026.1>. 0.6 д.а.
4. Андрусик В. Вплив технологій штучного інтелекту на трансформацію конкурентних стратегій та структуру попиту на глобальному ринку напівпровідників. *Бізнес-навігатор*. 2026. Вип. 2(85). С. 676-682. DOI: <https://doi.org/10.32782/business-navigator.85-105>. 0.64 д.а.

Публікації апробаційного характеру

5. Андрусик В. Адаптація високотехнологічного сектору в умовах формування пост-індустріального суспільства. *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche* : IV International Scientific and Practical Conference (September 29, 2023, Bologna,

- Italy). K.: Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», 2023. P. 19-21. 0.14 д.а.
(форма участі – дистанційна)
6. Андрусик В. Детермінанти розвитку економічної моделі індустрії напівпровідників. *Бізнес-аналітика: моделі, інструменти та технології* : мат. V Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 5-6 березня 2024 р.). К.: НАУ, 2024. С. 162-166. 0.22 д.а. (форма участі - дистанційна)
 7. Ilnytsky D., Drobotiuk O., Andrusyk V. Sustainable development through green innovations: economic strategies of China and the EU compared. *Exploring global perspectives* : The 7th international conference on economics and social sciences (June 13-14, 2024, Bucharest, Romania). Bucharest: Bucharest University of Economic Studies, 2024. P. 512-525. 0.9 д.а., особисто автору належить 0,12 д.а., обґрунтовано роль напівпровідникової індустрії у забезпеченні сталого розвитку через «зелені» інновації. (форма участі – дистанційна)
 8. Андрусик В. Вплив напівпровідникової промисловості на міжнародні економічні відносини в умовах глобальної конкуренції. *Міжнародні економічні відносини в глобальному та регіональному вимірі* : мат. Міжн. наук.-практ. конф. (м. Ужгород, 18-19 жовтня 2024 р.). Львів-Торунь: Liha-Pres, 2024. С. 262-264. 0.13 д.а. (форма участі – дистанційна)
 9. Андрусик В. Ключові тренди конкурентного розвитку ринку напівпровідників. *Стратегічні напрями економічної та соціальної політики в контексті глобальних змін* : мат. Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 7 лютого 2025 р.). Львів-Торунь: Liha-Pres, 2025. С. 302-304. 0.13 д.а. (форма участі – дистанційна)

UKRAINE
Limited liability company
«Element-Peretvoryuvach»

9, Dniprovskoe Shose,
69069, Zaporizhzhia, UKRAINE
Phone: +38 (061) 228 16 23; +38 (061) 228 16 03;
+38 (061) 228 16 04;
ЄДРПОУ 30077685
e-mail: office@element.zp.ua; sbit3@element.zp.ua
http://www.element.zp.ua



УКРАЇНА
Товариство з обмеженою відповідальністю
«Елемент-Перетворювач»

вул. Дніпровське шосе, 9,
69069, м. Запоріжжя
т. +38 (061) 228 16 23; +38 (061) 228 16 03;
+38 (061) 228 16 04;
ЄДРПОУ 30077685
e-mail: office@element.zp.ua; sbit3@element.zp.ua
http://www.element.zp.ua

№134E/08
Від 08.04.2026

До спеціалізованої вченої ради
Київського національного економічного
університету імені Вадима Гетьмана

Про впровадження результатів
дисертаційної роботи Андрусіка В.В.

ДОВІДКА

ТОВ «Елемент-Перетворювач» розглянуло висновки та рекомендації дисертаційної роботи Андрусіка Владислава Віталійовича на тему: «Конкурентна взаємодія на глобальному ринку напівпровідників», викладені ним у доповідній записці. Відзначено, що вони представляють практичний інтерес для підприємства у частині обґрунтування конкурентних стратегій суб'єктів світового ринку напівпровідників та розроблення рекомендацій щодо входження українських виробників до міжнародних ланцюгів створення вартості у сфері мікроелектроніки в контексті зовнішньоекономічної діяльності ТОВ «Елемент-Перетворювач».

Директор
ТОВ «Елемент-Перетворювач»



Анатолій СОЛОДОВНИК



**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
"СІСТЕМ ГРУП ЛТД"**

03061, м. Київ, вул. Миколи Шепелєва, буд. 6
Sistem_grup@ukr.net тел. (093) 322-52-22
 р/р UA783348510000000026007220069 в АТ "ПУМБ" м. Київ
 ІПН 409452426587

Код ЄДРПОУ 40945242

Вих. № 09/06
 від «09» червня 2026 р.

До спеціалізованої вченої ради
 Київського національного економічного
 університету імені Вадима Гетьмана

Про впровадження результатів
 дисертаційної роботи Андрусіка В.В.

ДОВІДКА

ТОВ «Сістем Груп ЛТД» розглянуло висновки та рекомендації дисертаційної роботи Андрусіка Владислава Віталійовича на тему: «Конкурентна взаємодія на глобальному ринку напівпровідників», викладені ним у доповідній записці.

Ряд наукових положень та результатів дослідження В. Андрусіка було використано в діяльності ТОВ «Сістем Груп ЛТД». Результати аналізу глобальних тенденцій розвитку ринку напівпровідникової продукції, моделювання системних ризиків міжнародних ланцюгів створення вартості напівпровідникової індустрії, а також обґрунтування стратегій диверсифікації джерел постачання критичних електронних компонентів і обладнання знайшли практичне застосування при розробленні корпоративної стратегії розвитку компанії на 2026–2028 рр. Запропоновані автором підходи до сценарного прогнозування структурної динаміки глобального ринку напівпровідників були враховані при формуванні плану взаємодії з міжнародними технологічними партнерами та оптимізації постачальницько-логістичної діяльності у сегменті системної інтеграції високотехнологічних рішень для корпоративних замовників на ринках України та країн ЄС.

Директор

ТОВ «Сістем Груп ЛТД»



Свиридов Володимир Михайлович



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи
Київського національного економічного університету
імені Вадима Гетьмана

А. М. Колот
«14» 01 2026 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Київського національного економічного університету
імені Вадима Гетьмана

Л. Л. Антонюк
«14» 01 2026 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Андрюсика Владислава Віталійовича на тему:
«Конкурентна взаємодія на глобальному ринку напівпровідників»
у навчальний процес у Київському національному
економічному університеті імені Вадима Гетьмана

Деканат факультету міжнародної економіки і менеджменту Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана підтверджує, що ціла низка наукових положень і висновків дисертаційної роботи Андрюсика Владислава Віталійовича використовується у навчальному процесі при викладанні нормативних та спеціальних дисциплін для бакалаврів і магістрів з міжнародної економіки:

- **Міжнародна економіка** (розкриття теоретико-методологічних засад дослідження високотехнологічного сектору світової економіки в умовах глобальних технологічних трансформацій; характеристика місця високотехнологічного сектору в постіндустріальній парадигмі глобального економічного розвитку; комплексна характеристика глобальних детермінант розвитку світової напівпровідникової індустрії; розкриття мережевої архітектури глобального ринку напівпровідників).

- **Міжнародна торгівля** (узагальнення сучасних трендів конкурентної еволюції глобального ринку напівпровідників; характеристика геоекономічної фрагментації світового ринку напівпровідникової продукції та практик експортного контролю; бенчмаркінг регіональних сегментів глобального ринку напівпровідникової продукції за критеріями технологічної складності виробництва, частки регіону у глобальних дослідженнях і розробках та інноваційної активності; розкриття стратегічних моделей конкурентної взаємодії суб'єктів світового ринку напівпровідників).

- **Міжнародний менеджмент** (узагальнення стратегічних моделей конкурентної взаємодії суб'єктів світового ринку напівпровідників; комплексна характеристика бізнес-моделей провідних багатонаціональних підприємств галузі – інтегрованого виробництва пристроїв (IDM), безфабричного проєктування (fabless) та комбінованої моделі fab-lite; розкриття результатів сценарного прогнозування структурної динаміки глобального ринку напівпровідників; дослідження ролі квантової переваги як детермінанти розвитку національних напівпровідникових екосистем).

Декан факультету МЕіМ,
к.е.н., доцент

ІО. М. Солодковський