

2.2. Вплив цифрових трансформацій на стан бюджетного дефіциту та державного боргу

(С. О. Криниця, кандидат економічних наук, доцент, докторант,
Державний податковий університет)

У сучасному світі цифровізація стала важливим каталізатором змін у багатьох сферах, зокрема в економіці та фінансах. Цей процес трансформації характеризується активним використанням інформаційних технологій, які змінюють традиційні моделі управління й моніторингу фінансових ресурсів. В умовах глобалізації, коли держави стикаються з численними викликами, згадані зміни відіграють ключову роль у впорядкуванні фінансових потоків і підвищенні прозорості. Дослідження, присвячені впливу цифровізації на публічні фінанси, набувають усе більшої популярності, адже вони демонструють, як технології можуть оптимізувати проведення фінансових операцій та управлінських рішень. Це питання є особливо актуальним для країн з високим рівнем бюджетного дефіциту й державного боргу, де управління фінансовими ресурсами є критично важливим для економічної стабільності. Основні теми, які висвітлюються в дослідженнях, стосуються впровадження електронних систем управління бюджетом, автономізації фінансових процесів і можливостей для зменшення бюрократії²⁴⁸. Як показують дослідження, використання цифрових платформ може вдосконалити процеси збору й аналізу даних, підвищити прозорість і підзвітність фінансів, а також знизити адміністративні витрати²⁴⁹. Водночас бюджетний дефіцит і державний борг залишаються значущою проблемою для багатьох країн, оскільки його зростання може призвести до економічної нестабільності та зниження соціальних витрат на важливі сфери, як-от охорона здоров'я та освіта²⁵⁰.

²⁴⁸ The Lancet Global Health Commission on financing primary health care: putting people at the centre. Hanson, Kara et al. *The Lancet Global Health*. 2023. Volume 10, Issue 5, pp. 715–772.

²⁴⁹ Вплив цифрових трансформацій на транспарентність фінансово-економічних відносин та фінансову безпеку України / Гриценко Л., Захаркіна Л., Захаркін О., Новіков В., Чухно Р. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2022. 3 (44), 167–175. DOI 10.55643/fcaptp.3.44.2022.3767

²⁵⁰ Assessment of the external debt impact on a country's economic development indicators: Evidence from Ukraine / Petrushenko Y., Korneyev M., Nebaba N., Banchuk-Petrosova O., Bohorodytska A. *Investment Management and Financial Innovations*. 2022. 19 (1), 360–369. DOI 10.21511/imfi.19(1).2022.28

Основною метою цього дослідження є вивчення впливу цифровізації на зміни у фіскальному балансі країн і розмір їхнього державного боргу.

Взаємозв'язок між цифровізацією публічних фінансів та бюджетним дефіцитом і державним боргом є надзвичайно актуальним, адже він може виявити нові механізми оптимізації витрат та управління борговими зобов'язаннями держави²⁵¹. У цьому контексті варто розглянути, як фіскальний баланс і державний борг може змінюватися під тиском технологічної трансформації, зокрема в публічному секторі, що підтверджується рядом досліджень, які акцентують увагу на перевагах автоматизації та електронного урядування²⁵². Основними темами, які висвітлюються в існуючій літературі, є вплив цифровізації на прозорість державних фінансів, ефективність зборів податків, а також інтеграцію нових цифрових рішень у бюджетні процеси^{253; 254}. Наприклад, дослідження показує, що електронні платформи для моніторингу витрат можуть знизити ризики корупції та неуправлінських витрат, що зі свого боку зменшує загальний обсяг державного боргу²⁵⁵. Проте, попри ці позитивні результати, залишається ряд невизначеностей, які можуть впливати на реальний ефект цифровізації. Нестача даних та обмеження в методології досліджень у цій галузі вказують на значні прогалини в знаннях, які потребують глибшого й систематичного аналізу²⁵⁶. Так, дослідження показують, що недоліки в інфраструктурі можуть підвищити вразливість державного боргу в умовах нестабільності²⁵⁷. Крім того, ефекти цифровізації варто розглядати в контексті різних країнових умов і аналітичних рамок з метою виявлення кращих практик і помилок.

²⁵¹ Sarkar M. Management Research in Emerging Economies. *Vikalpa : The Journal for Decision Makers*. 2007. Volume (32), 125–138. URL : <https://www.semanticscholar.org/paper/cdb7a75e5463d803a48ef921b4ed0760e61e23f7>

²⁵² Schelkle W. Fiscal Integration in an Experimental Union: How Path-Breaking Was the EU's Response to the COVID-19 Pandemic? *JCMS : Journal of Common Market Studies*. 2021. Volume (59), 44–55. DOI 10.1111/jcms.13246

²⁵³ Baker S., Bloom N., Davis S. J. Measuring Economic Policy Uncertainty. *The Quarterly Journal of Economics*. 2016. Volume (131), 1593–1636. DOI 10.1093/qje/qjw024

²⁵⁴ Millennium Development Goals Report. UN-iLibrary. 2016. DOI 10.18356/98544aa9-en

²⁵⁵ Fikri M., Goumghar S. Digitalization and digital platforms as a facilitator for project finance access for entrepreneurs: Exploratory study. 2022. URL : <https://core.ac.uk/download/543113197.pdf>

²⁵⁶ Derr T. Unlocking fiscal space: leveraging opportunities to empower progress in developing countries. 2023. URL : <https://core.ac.uk/download/639217515.pdf>

²⁵⁷ Schramm L., Krotz U., De Witte B. Building 'Next Generation' after the pandemic: The implementation and implications of the EU Covid Recovery Plan. *JCMS : Journal of Common Market Studies*. 2022. Volume (60), 114–124. DOI 10.1111/jcms.13375

З розвитком цифровізації, яка охопила всі сфери суспільного життя, тема впливу цифровізації на публічні фінанси та державний борг почала отримувати все більшу увагу. На початку 2000-х років дослідження в цій галузі зосереджувались переважно на базових технологіях, що використовуються в управлінні фінансами, і їхній здатності підвищити ефективність державних витрат. Однак поступово та за допомогою нових аналітичних підходів вивчалась їхня роль у зменшенні державного боргу. У 2020-х роках акцент змістився на взаємозв'язок між цифровізацією та прозорістю фінансових процесів. Багато досліджень показали, що використання електронних платформ і відкритих даних значно зменшує ймовірність корупційних схем, що зі свого боку може сприяти стабільності та скорочення державного боргу. Також зверталась увага на вплив цифрових технологій на методологію бюджетного планування, яка стала більш адаптованою до сучасних умов²⁵³. Останніми роками значно зросла кількість досліджень, які висвітлюють культурні та соціальні аспекти цифровізації. Ці роботи демонструють, як нові технології змінюють сприйняття публічних фінансів суспільством, а також їх здатність формувати відповіді на економічні виклики. Висновки, зроблені в цих роботах, вказують на те, що цифровізація не лише покращує ефективність управлінських процесів, але й допомагає впливати на стан фіскального балансу та державного боргу.

Узагальнюючи, наявні дослідження демонструють, що цифровізація має складний вплив на державний борг, виконуючи як позитивну, так і негативну роль. Постійно зростаючі обсяги інформації стосовно цифрових фінансів свідчать про потребу в глибшому аналізі цього феномена, особливо в умовах глобалізаційних викликів.

Для аналізу впливу цифровізації на бюджетний дефіцит і державний борг у країнах Європейського Союзу було сформовано панельний датасет за період 2016–2023 років, який охоплює всі держави-члени ЄС. Цифровізацію виміряно за допомогою індексу DESI (Digital Economy and Society Index), який щорічно публікується Європейською комісією. Оскільки дані DESI розраховуються на основі інформації за попередній рік, значення індексу було зміщено на один рік назад (наприклад, DESI2024 відповідає бюджетним показникам за 2023 рік)²⁵⁸.

²⁵⁸ Digital Economy and Society Index (DESI) / European Commission. 2024. URL : <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>

Показники бюджетного дефіциту (net lending (+) / net borrowing (–)) та державного боргу (government consolidated gross debt) були отримані з бази даних Євростату²⁵⁹. Для усунення впливу інфляції та різниць у купівельній спроможності між країнами дані були скориговані відповідно до ВВП на душу населення в постійних цінах 2015 року (chain-linked volumes)²⁶⁰ та індексу ВВП на душу населення в паритеті купівельної спроможності (PPS)²⁶¹. Отже, отримані показники дефіциту та боргу були нормовані до реального скоригованого ВВП на душу населення в умовних одиницях PPS 2015 року.

Оскільки з 2023 року методика розрахунку DESI була оновлена, значення для 2023–2024 років було реконструйовано на основі окремих індикаторів відповідно до методології 2022 року²⁶², що забезпечує порівнюваність даних у часовій динаміці.

Для обґрунтування застосування панельного підходу було проведено тест Лагранжа (Breusch – Pagan Lagrange Multiplier Test), який дає змогу визначити, чи має модель випадкові ефекти і, відповідно, чи доцільне використання панельної структури даних²⁶³. Нульова гіпотеза тесту полягає у відсутності значущих міжіндивідуальних варіацій, що виправдовує використання звичайної об'єднаної регресії (pooled OLS). Альтернативна гіпотеза припускає наявність суттєвих індивідуальних ефектів, що потребує застосування моделей панельного аналізу.

Результати тесту для моделі, що оцінює вплив цифровізації (індекс DESI) на розмір бюджетного дефіциту, показали наявність значущих випадкових ефектів ($\chi^2 = 94.296$, $df = 1$, $p < 0.001$), що свідчить на користь використання панельного підходу. Аналогічно для моделі, в якій досліджується вплив DESI на обсяг державного боргу, також зафіксовано високий результат тесту ($\chi^2 = 725.09$, $df = 1$, $p < 0.001$). Отже, для обох залежних змінних – дефіциту бюджету та державного боргу – підтверджено наявність панельних ефектів, що виправдовує застосування методів панельної регресії для подальшого аналізу.

²⁵⁹ General government deficit/surplus and debt statistics [GOV_10DD_EDPT1] / Eurostat. 2024. DOI 10.2908/GOV_10DD_EDPT1

²⁶⁰ Gross domestic product at market prices per capita [NAMA_10_PC] / Eurostat. 2024. DOI 10.2908/NAMA_10_PC

²⁶¹ GDP per capita in PPS [TEC00114] / Eurostat. 2024. DOI 10.2908/TEC00114

²⁶² Digital Economy and Society Index (DESI) 2022. Methodological Note / European Commission. 2022. URL : <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/88557>

²⁶³ Breusch T. S., Pagan A. R. The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*. 1980. 47 (1). 239–253. DOI 10.2307/2297111

Результати панельного аналізу впливу цифровізації (DESI) на розмір бюджетного дефіциту та державного боргу показали такі результати (табл. 2.2.1, 2.2.2).

Таблиця 2.2.1 – Результати панельного аналізу впливу цифровізації (DESI) на бюджетний дефіцит у країнах ЄС у 2016–2023 рр.

	Модель		Тест Хаусмана
	З фіксованими ефектами (FE)	З випадковими ефектами (RE)	
Кількість спостережень (N)	216	216	
Кількість країн (n)	27	27	
Вільний член (Intercept)	–	510,64	
Коефіцієнт DESI	–27,86	–21,40	
Стандартна похибка	4.74	4.53	
p-значення	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	$4,18 \cdot 10^{-6}$
R ²	0.155	0.094	
F / χ^2	34,50	22,31	21,18
Висновок	Приймається	Приймається	Приймається модель FE

Джерело: розраховано автором.

В обох моделях оцінка коефіцієнта для DESI є достатньо високою, що означає, що зростання DESI на 1 одиницю асоціюється з бюджетного дефіциту на 1 мешканця на 21,40–27,86 євро зі стандартною похибкою приблизно 4,6.

Модель пояснює майже 15,5 % (FE) чи 9,4 % (RE) варіації державного боргу, що є помірним результатом, утім апріорі зрозуміло, що цифровізація є не єдиним чинником, який впливає на публічні фінанси, а внесення до моделі інших чинників, що не стосуються впливу цифровізації, наразі не є нашою метою.

Висока значущість обох моделей (F-статистика 34,5, χ^2 22,31, p-value $< 2,22 \cdot 10^{-16}$) підтверджує, що DESI є важливим предиктором.

Вибір поміж двох моделей панельного аналізу (Fixed Effects чи Random Effects) залежить від результатів тесту Хаусмана (табл. 2.2.1). Нульова гіпотеза Hausman Test (H_0) стверджує, що індивідуальні ефекти (специфічні для кожної країни) корелюють із предиктором. У такому випадку модель із фіксованими ефектами (FE) є узгодженою і більш ефективною, ніж Random Effects модель²⁶⁴.

²⁶⁴ Hausman J. A. Specification Tests in Econometrics. *Econometrica*. 1978. 46 (6), 1251–1271. DOI 10.2307/1913827

Отже, лінійну модель впливу цифровізації на розмір бюджетного дефіциту можна виразити формулою:

$$SDpC_{it} = -27.86 \cdot DESI_{it} + u_i + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

де:

$SDpC_{it}$ – бюджетний профіцит / дефіцит (+ / –) на 1 мешканця для країни i в часі t ;

$DESI_{it}$ – the Digital Economy and Society Index для країни i в часі t ;

u_i – випадкові ефекти, специфічні для кожної країни (наприклад, рівень економічного розвитку, особливості податкової системи тощо);

ε_{it} – ідіосинкратична похибка, яка змінюється в часі та між країнами.

А отже, попередньо гіпотеза про позитивний вплив цифровізації на стан публічних фінансів відхиляється, оскільки за моделлю (1) зростання індексу цифрового розвитку економіки та суспільства асоціюється з поглибленням бюджетного дефіциту.

Таблиця 2.2.2 – Результати панельного аналізу впливу цифровізації (DESI) на державний борг у країнах ЄС у 2016–2023 рр.

	Модель		Тест Хаусмана
	З фіксованими ефектами (FE)	З випадковими ефектами (RE)	
Кількість спостережень (N)	216	216	
Кількість країн (n)	27	27	
Вільний член (Intercept)	–	16 690.73	
Коефіцієнт DESI	46,15	46,04	
Стандартна похибка	12,42	12,38	
p-значення	0,0003	0,0002	0,9136
R ²	0,068	0,061	
F / χ^2	13,80	13,83	0,01
Висновок	Приймається	Приймається	Приймається модель RE

Джерело: розраховано автором.

Аналогічно щодо впливу DESI на бюджетний дефіцит результати панельного аналізу впливу цифровізації на розмір державного боргу не дають нам змогу підтвердити гіпотезу про позитивний вплив цифрових трансформацій на стан публічних фінансів, оскільки зростання

індексу цифрового розвитку економіки та суспільства асоціюється зі зростанням державного дефіциту (модель 2):

$$DpC_{it} = 16690,73 + 46.04 \cdot DESI_{it} + u_i + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

де:

DpC_{it} – розмір державного боргу на 1 мешканця для країни i в часі t .

Проте для повного схвалення отриманих значень моделей потрібно провести ряд тестів (таблиця 2.2.3).

Таблиця 2.2.3 – Результати тестування лінійних панельних моделей оцінки впливу цифровізації (DESI) на бюджетний дефіцит і державний борг у країнах ЄС у 2016–2023 рр.

Тест	Ціль тесту	Результат впливу на		Інтерпретація
		бюджетний дефіцит	державний борг	
<i>F</i> -тест на двосторонні ефекти	Перевірка наявності двосторонніх (часових та індивідуальних) фіксованих ефектів	$F = 35.7,$ $p < 2.2e^{-16}$	$F = 6.1,$ $p < 0.001$	Є статистично значущі індивідуальні та часові ефекти
Тест Песарана	Перевірка на перехресну залежність між панелями	$z = 35.378,$ $p < 2.2e^{-16}$	$z = 14.475,$ $p < 2.2e^{-16}$	Значуща перехресна залежність між панелями
Тест Бреуша-Годфрі / Вуліджа	Перевірка автокореляції ідіосинкратичних залишків	$\chi^2 = 71.98,$ $p = 1.981e^{-12}$	$\chi^2 = 89.92,$ $p = 4.829e^{-16}$	Наявна автокореляція залишків
Тест Бреуша-Пагана	Перевірка гетероскедастичності залишків	$BP = 11.552,$ $p = 0.00068$	$BP = 14.122,$ $p = 0.00017$	Наявність гетероскедастичності
Тест Шапіро-Вілکا	Перевірка нормальності розподілу залишків	$W = 0.96741,$ $p = 7.014e^{-5}$	$W = 0.94796,$ $p = 5.074e^{-7}$	Модель може бути чутливою до розподілу
Робастні стандартні похибки (Дрісколл-Краай)	Робастна оцінка стандартних похибок з урахуванням автокореляції та залежності між панелями	Стандартні похибки не змінені	Слабко значущий позитивний зв'язок ($t = 1.949,$ $p = 0.053$)	Проблемою може бути невелика вибірка

Джерело: розраховано автором.

Проведені тести вказали на доцільність врахування як фіксованих індивідуальних, так і часових ефектів. Зокрема, тест Фішера для двосторонніх ефектів засвідчив для обох моделей статистично значущу наявність як індивідуальних, так і часових ефектів, що відповідає результатам аналогічного тесту між моделями з фіксованими індивідуальними та двосторонніми ефектами.

За обома моделями також було виявлено крос-секційні залежності між країнами, серійну кореляцію, гетероскедастичність, а також відхилення від нормальності залишків. У зв'язку з цим було використано робастні стандартні похибки на кшталт HC0^{265, 266}.

Результати моделі з робастними похибками свідчать про статистично значущий негативний вплив цифровізації (DESI) на стан бюджетного балансу: збільшення значення DESI на 1 пункт асоціюється зі зростанням бюджетного дефіциту за модулем, тобто зі збільшенням негативного значення дефіциту на 21,4 євро на душу населення. Це може свідчити про те, що в короткостроковій перспективі цифровізація супроводжується додатковими бюджетними витратами, які погіршують фінансовий баланс. Такий ефект може бути пов'язаний із високими початковими інвестиціями в цифрову інфраструктуру, модернізацію державних послуг або цифрову трансформацію управлінських процесів.

Щодо впливу на державний борг застосування робастних похибок показало позитивний зв'язок між індексом DESI та обсягом державного боргу, однак статистична значущість цього зв'язку перебуває на межі. Це свідчить про можливу асоціацію між цифровізацією та зростанням державних витрат, наприклад через інвестиції в цифрову інфраструктуру, що зі свого боку може призводити до збільшення боргового навантаження в короткостроковій перспективі. Схожі результати були також виявлені в дослідженні²⁶⁷, де зазначено, що цифрові трансформації супроводжуються підвищенням боргового фінансування.

²⁶⁵ Driscoll J. C., Kraay A. C. Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data. *Review of Economics and Statistics*. 1998. 80 (4), 549–560. DOI 10.1162/003465398557825

²⁶⁶ Hoechle D. Robust Standard Errors for Panel Regressions with Cross-Sectional Dependence. *Stata Journal*. 2007. 7 (3), 281–312. DOI 10.1177/1536867X0700700301

²⁶⁷ Hai-feng Zha, Wei Li. Digital Finance, Fiscal Transparency and Government Debt Risk. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*. 2022. 12 (4), 155–169. URL : <https://jracr.com/index.php/jracr/article/download/341/388/1149>

Але досліджуваний період охоплює 2016–2023 роки – часовий відрізок, який містить пандемічну кризу COVID-19, що мала значний вплив на державні фінанси, зокрема й країн Європейського Союзу. З одного боку, внаслідок реалізації антикризових заходів, програм підтримки домогосподарств і бізнесу, а також зростання видатків на охорону здоров'я відбулося суттєве збільшення державних витрат. З іншого боку, запровадження локдаунів, обмежень економічної активності та порушення глобальних ланцюгів постачання спричинили скорочення податкових надходжень та уповільнення економічного зростання²⁶⁸. Водночас пандемія стала потужним каталізатором цифровізації: в умовах обмеженого фізичного доступу до публічних послуг, освіти та робочих місць різко зросла потреба у віддалених формах взаємодії, що пришвидшило цифрову трансформацію як приватного, так і державного секторів²⁶⁹. У зв'язку з цим постає запитання: чи не зумовлений виявлений нами статистичний зв'язок між рівнем цифровізації (DESI) та бюджетним дефіцитом / державним боргом впливом часових чинників, зокрема пандемічної кризи? З огляду на встановлену присутність часових ефектів (на основі відповідних тестів) доцільним є застосування корекції Мандлака, що дає змогу відокремити внутрішньогрупову (within) варіацію змінних від міжгрупової (between) та, відповідно, більш коректно ідентифікувати причинно-наслідкові зв'язки в умовах динамічних змін у часі^{270, 271}.

Результати застосування корекції Мандлака засвідчили, що поточне значення індексу цифровізації DESI не має статистично значущого зв'язку з бюджетним дефіцитом (табл. 2.2.4), тоді як середнє значення DESI за країною, хоча також не виявило значущого міжкраїнного ефекту, але демонструє позитивний вплив, тобто зростання середнього показника DESI асоціюється зі скороченням бюджетного

²⁶⁸ The EU economy after COVID-19: Implications for economic governance / European Commission. Brussels, 2021. URL : <https://www.europeansources.info/record/the-eu-economy-after-covid-19-implications-for-economic-governance/>

²⁶⁹ Technology and Innovation Report 2021: Catching Technological Waves – Innovation with Equity / United Nations Conference on Trade and Development. 2022. URL : <https://unctad.org/page/technology-and-innovation-report-2021>

²⁷⁰ Mundlak Y. On the pooling of time series and cross section data. *Econometrica*. 1978. 46 (1), 69–85. DOI 10.2307/1913646

²⁷¹ Bell A., Jones K. Explaining fixed effects: Random effects modeling of time-series cross-sectional and panel data. *Political Science Research and Methods*. 2015. 3 (1), 133–153. DOI 10.1017/psrm.2014.7

дефіциту. У моделі було враховано часові фіктивні змінні (dummy), з яких найбільш значущим виявився 2020 рік, що свідчить про істотне зростання дефіциту в рік пандемічної кризи.

Таблиця 2.2.4 – Результати моделей впливу цифровізації на бюджетний дефіцит і державний борг у країнах ЄС з корекцією часових ефектів Мандлака

Залежні змінні	Бюджетний дефіцит на особу		Державний борг на особу	
Предиктори	Коефіцієнт	Стандартна похибка	Коефіцієнт	Стандартна похибка
DESI	-13.29	19.67	-29.25	71.46
Середній DESI по країні	32.33	22.98	22.88	281.32
Dummy: 2017	204.51	122.61	-140.43	445.41
Dummy: 2018	242.40	149.42	-146.04	542.79
Dummy: 2019	355.10	193.45	-310.05	702.75
Dummy: 2020	-1185.92***	267.23	1836.46*	970.79
Dummy: 2021	-528.63	362.10	2260.40*	1315.42
Dummy: 2022	-34.14	423.80	1559.20	1539.57
Dummy: 2023	-46.86	554.16	1169.86	2013.11
R ² / Adj. R ²	0.617 / 0.600	–	0.224 / 0.190	–
N (панель)	27 країн × 8 років = 216			
Примітка	*p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001			

Джерело: розраховано автором.

Аналогічна модель для пояснення рівня державного боргу на душу населення показала ще слабший зв'язок із цифровізацією: як поточне значення DESI, так і міжкраїнний середній рівень виявилися статистично незначущими. Водночас коефіцієнти щодо часових фіктивних змінних 2020 й 2021 років були позитивними та статистично наближеними до порогів значущості, що узгоджується з очікуваннями щодо зростання боргового навантаження в умовах пандемії.

Загалом результати вказують на обмежений прямий ефект цифровізації, вимірюної через DESI, на дефіцит і борг у короткостроковому періоді, з чутливістю цих показників до екзогенних шоків, зокрема COVID-19.

Аналіз значень часових фіктивних змінних у моделей залежності бюджетного дефіциту та державного боргу від індексу цифрової економіки й суспільства (DESI) із застосуванням корекції Мандлака

дає змогу виокремити вплив загальносвітових макроекономічних шоків і тенденцій. Зокрема, статистично значущі позитивні коефіцієнти для 2017–2019 років у моделі бюджетного дефіциту свідчать про покращення бюджетного балансу в ці роки порівняно з базовим 2016 роком. Водночас аналогічні (хоч і статистично менш значущі) негативні коефіцієнти в моделі державного боргу демонструють тенденцію до скорочення боргового навантаження до пандемії. Однак відсутність статистичної значущості як динамічного (value), так і середнього (mean_value) компонента індексу DESI в обох моделях вказує, що виявлені позитивні бюджетні тенденції до 2020 року не були безпосередньо зумовлені рівнем цифровізації. Відповідно, такі зміни, ймовірно, зумовлювалися іншими чинниками, зокрема сприятливою економічною кон'юнктурою або реалізацією заходів фіскальної консолідації, що підтверджує важливість охоплення часових фіктивних змінних для коректного виділення ефектів цифровізації.

Загалом моделі (1, 2) після врахування часових ефектів за корекцією Мандлака можна представити як:

$$SDpC_{it} = -13.29 \cdot DESI_{it} + 32,33 \cdot \overline{DESI}_i + \sum_{t=2017}^{2023} \gamma_t D_t + u_i + \varepsilon_{it}; \quad (3)$$

$$DpC_{it} = 18359.06 - 29.25 \cdot DESI_{it} + 22,88 \cdot \overline{DESI}_i + \sum_{t=2017}^{2023} \gamma_t D_t + u_i + \varepsilon_{it}, \quad (4)$$

де:

$DESI_{it}$ – індикатор DESI країни i в рік t , що виражає короткостроковий вплив змінної;

$\overline{DESI}_i$ – середнє значення DESI країни i , що виражає довгостроковий вплив змінної;

D_t – набір тимчасових даммі-змінних (для кожного року, крім базового 2016);

γ_t – коефіцієнти для тимчасових даммі-змінних, що враховують часові ефекти (табл. 2.2.4).

Отже, за результатами емпіричного дослідження впливу цифровізації на бюджетний дефіцит і державний борг у країнах ЄС, проведеного на основі панельних даних за 2016–2023 роки з використанням

індексу цифрової економіки та суспільства (DESI), виявлено складний характер взаємозв'язку між цифровою трансформацією й бюджетним дефіцитом і державним боргом.

Однак панельний аналіз даних з обмеженою кількістю спостережень, що охоплює 27 країн ЄС упродовж 8-річного періоду, становить методологічний виклик для традиційних частотних підходів статистичного аналізу. У контексті дослідження впливу цифровізації (за індексом DESI) на рівень державного боргу розмір вибірки ($n = 216$) може виявитися недостатнім для отримання надійних оцінок із належною статистичною потужністю, особливо в разі потреби контролю за численними ковариатами та врахування можливої гетерогенності між країнами. За таких умов баєсівська регресійна методологія представляє більш обґрунтований альтернативний підхід з кількох ключових причин.

По-перше, баєсівські методи демонструють перевагу в роботі з малими та середніми вибірками завдяки можливості інкорпорувати апріорну інформацію, що особливо важливо в контексті макроекономічних досліджень, де існує значний обсяг попередніх теоретичних та емпіричних знань. Охоплення інформативних апріорних розподілів дає змогу компенсувати обмеженість даних і підвищити точність оцінок параметрів моделі, зменшуючи ризик переоцінки або недооцінки ефектів впливу цифровізації на державний борг²⁷². Водночас для параметрів, щодо яких існує значна невизначеність, можливе застосування неінформативних апріорних розподілів, забезпечуючи в такий спосіб методологічну гнучкість.

По-друге, баєсівська регресія надає комплексну картину невизначеності через надання повних апостеріорних розподілів параметрів, а не лише точкових оцінок з довірчими інтервалами. У контексті аналізу зв'язку між цифровізацією та державним боргом це дає змогу більш акуратно відобразити стохастичний характер досліджуваних відносин і уникнути проблеми множинного тестування, що часто виникає під час застосування стандартних економетричних методів до панельних даних. Крім того, баєсівський підхід забезпечує природний спосіб врахування ієрархічної структури даних, де спостереження

²⁷² Bayesian Workflow / Gelman A., Vehtari A., Simpson D., Margossian C. 2020. DOI 10.48550/arXiv.2011.01808

вкладені в країни через застосування багаторівневих моделей з випадковими ефектами, що дає нагоду оцінити варіативність впливу цифровізації між різними країнами ЄС²⁷³.

Нарешті, баєсівська методологія пропонує більш надійний підхід до вирішення проблеми мультиколінеарності, що потенційно може виникнути через високу кореляцію між різними вимірами індексу DESI. Регуляризувальний ефект апіорних розподілів забезпечує стабільність оцінок параметрів навіть за наявності сильної кореляції між предикторами. Це особливо важливо для правильної інтерпретації внеску різних аспектів цифровізації в динаміку бюджетного дефіциту та державного боргу²⁷⁴. Додатково баєсівські методи надають інструментарій для порівняння альтернативних моделей через інформаційні критерії або прогностичну перевірку, що дає змогу обрати оптимальну специфікацію моделі з урахуванням складності даних і теоретичних припущень.

Поєднуючи баєсівський підхід з панельним аналізом даних, застосовуємо модель з такою специфікацією (табл. 2.2.5).

Таблиця 2.2.5 – Специфікація моделі впливу цифровізації на бюджетний дефіцит і державний борг із застосуванням баєсівської регресії в поєднанні із панельним аналізом

Характеристика	Значення / Опис
Формули моделей	$SDpC \sim DESI + (1 / Geo)$ $DpC \sim DESI + (1 / Geo)$, де Geo – країна
Сімейство розподілу	Gaussian
Функція зв'язку	Identity
Кількість спостережень	216
Кількість країн	27
Кількість ланцюгів	4
Кількість ітерацій	4 000
Період прогрівання (warmup)	2 000
Проріджування (thin)	1
Загальна кількість використаних вибірок	8 000

Джерело: складено автором.

²⁷³ Burkner P.-Ch. Advanced Bayesian Multilevel Modeling with the R Package brms. *The R Journal*. 2018. 10 (1), 395–411. DOI 10.32614/RJ-2018-017

²⁷⁴ Piironen J., Vehtari A. Sparsity information and regularization in the horseshoe and other shrinkage priors. *Electronic Journal of Statistics*. 2017. 11 (2). DOI 10.1214/17-EJS1337SI

Проведений баєсівський регресійний аналіз взаємозв'язку між рівнем цифровізації (за індексом DESI) та розміром державного боргу на душу населення в 27 країнах ЄС демонструє певні закономірності, хоча статистична значущість ефекту не є однозначною (табл. 2.2.6).

Таблиця 2.2.6 – Результати оцінки впливу цифровізації на бюджетний дефіцит і державний борг із застосуванням методу баєсівської регресії в поєднанні із панельним аналізом

Параметр	Оцінка	Стандартна похибка	95 % довірчий інтервал	Rhat	Bulk_ESS	Tail_ESS
Вплив на бюджетний дефіцит						
Фіксовані ефекти						
Вільний член (Intercept)	129,81	171,61	[-204.75; 466.70]	1.00	19 190	5 932
Індекс (DESI)	-2,84	3,67	[-10.02; 4.38]	1.00	19 151	5 956
Випадкові ефекти						
sd(Intercept) для країн	1,01	1,02	[0.02; 3.78]	1.00	11 144	4 390
Параметри розподілу						
sigma	971.94	48.65	[881.59; 1074.52]	1.00	21 765	5 182
Вплив на державний борг						
Фіксовані ефекти						
Вільний член (Intercept)	-3.56	231,50	[-465.15; 451.56]	1.00	16 954	5 365
Індекс (DESI)	0,08	4,95	[-9.68; 9.93]	1.00	16 949	5 435
Випадкові ефекти						
sd(Intercept) для країн	1,00	1,02	[0.03; 3.74]	1.00	9 323	4 510
Параметри розподілу						
sigma	22 222.59	1 066.65	[20 273.5; 24 461.1]	1.00	14 784	6 061

Джерело: розраховано автором.

Спочатку варто звернути увагу на оцінку коефіцієнта щодо змінної цифровізації (DESI), який становить -2,84 з досить широким довірчим інтервалом: від -10,02 до 4,38. Від'ємний знак коефіцієнта вказує на тенденцію до зростання бюджетного дефіциту на душу населення під час зростання індексу цифровізації DESI. Зокрема, збільшення індексу DESI на одиницю асоціюється із середнім зростанням

бюджетного дефіциту на душу населення приблизно на 2,84 євро за умови незмінності інших чинників. Однак довірчий інтервал 95 % для цього коефіцієнта охоплює нуль, що свідчить про відсутність статистично значущого ефекту на загальноприйнятому рівні достовірності (рис. 2.2.1).

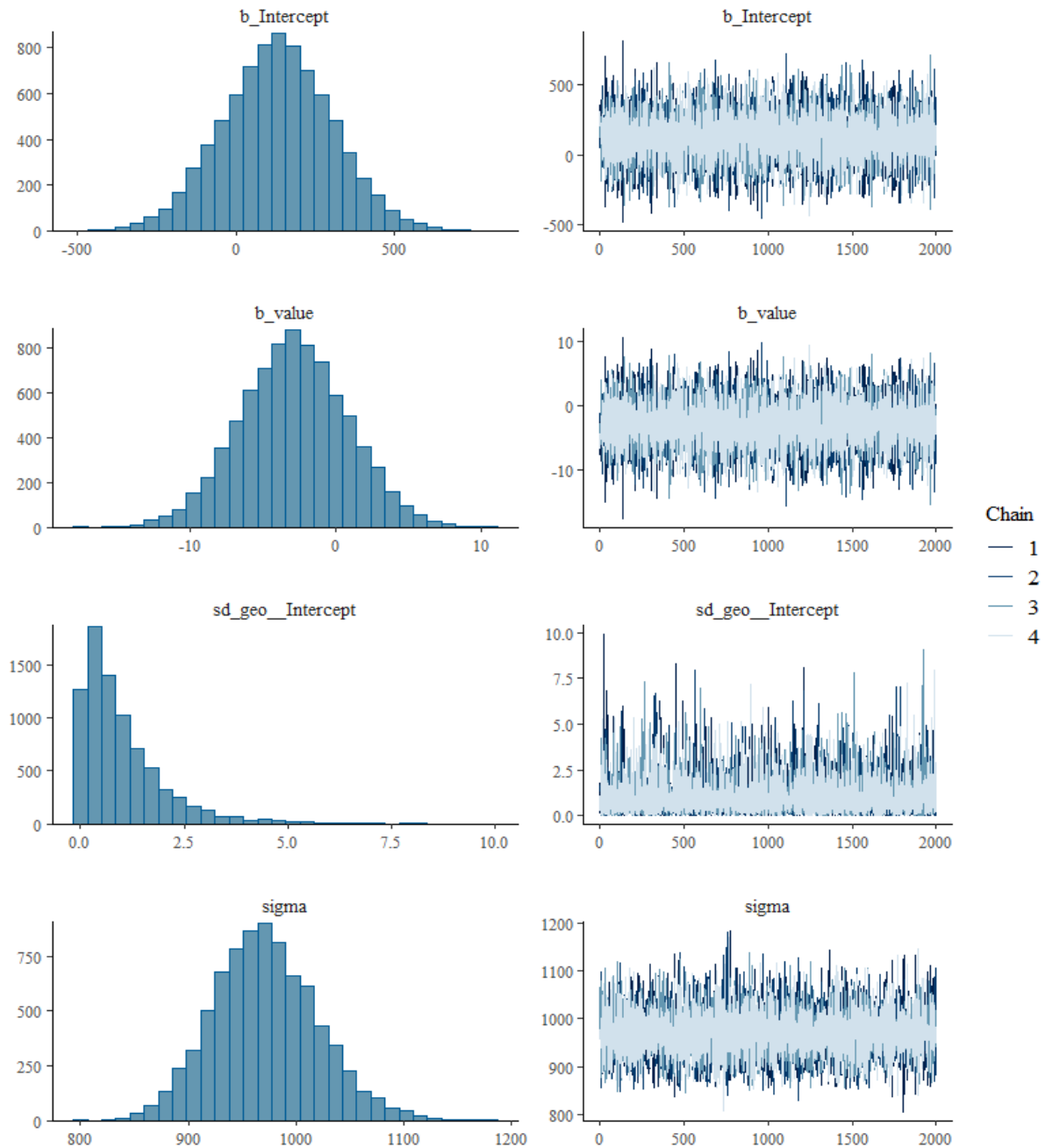


Рисунок 2.2.1 – Оцінка впливу цифровізації на бюджетний дефіцит
із застосуванням методу баєсівської регресії

Джерело: складено автором.

Важливо звернути увагу на параметр багаторівневої моделі – стандартне відхилення випадкових ефектів для країн ($sd(Intercept)$), яке оцінюється на рівні 1,01 з довірчим інтервалом від 0,02 до 3,78. Це вказує на наявність певної варіативності в базовому рівні бюджетного дефіциту між країнами, хоча ефект є помірним. Параметр σ (971,94) свідчить про значний розкид залишків моделі, що відображає вплив неврахованих чинників на рівень державного боргу.

Показники діагностики моделі є задовільними: значення R^2 для всіх параметрів становлять 1,00, що свідчить про належну конвергенцію ланцюгів Маркова. Ефективні розміри вибірки ($Bulk_ESS$ та $Tail_ESS$) є достатньо високими для всіх параметрів, що підтверджує надійність отриманих апостеріорних розподілів.

Формально отриману модель можемо представити так:

$$SDpC_{it} = 129.81 - 2.84 \cdot DESI_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

із:

$$\begin{aligned} \mu_i &\sim \mathcal{N}(0; 1,01^2); \\ \varepsilon_{it} &\sim \mathcal{N}(0; 971,01^2), \end{aligned}$$

де:

μ_i – випадковий ефект для країни i ;

ε_{it} – залишкова похибка.

Постеріорний розподіл коефіцієнта щодо змінної $DESI$ (рис. 2.2.2) дає змогу глибше зрозуміти характер взаємозв'язку між цифровізацією та бюджетним дефіцитом у країнах ЄС:

1. Центральна тенденція розподілу: пік розподілу перебуває близько значення $-2,84$, що відповідає точковій оцінці коефіцієнта. Це підтверджує виявлену тенденцію до негативного зв'язку між рівнем цифровізації та бюджетним дефіцитом на душу населення.

2. Розташування порівняно нуля: розподіл охоплює нульове значення, але більша частина маси розподілу перебуває в сфері негативних значень. Це свідчить про те, що негативний ефект є більш імовірним, ніж позитивний, хоча нульовий ефект також залишається правдоподібним.

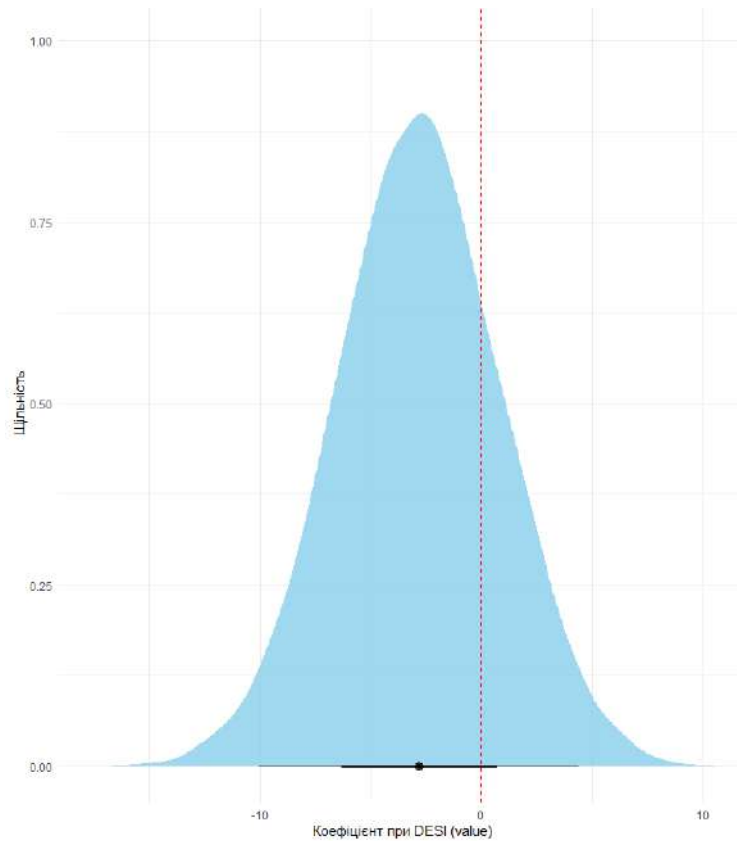


Рисунок 2.2.2 – Постеріорний розподіл впливу цифровізації (DESI) на бюджетний дефіцит у країнах ЄС

Джерело: складено автором.

3. Форма розподілу: розподіл має приблизно симетричну дзвоноподібну форму, що вказує на відсутність значної асиметрії в оцінках параметра й відповідає припущенням нормальності апостеріорного розподілу.

4. Ширина розподілу: спостерігається значне розсіювання розподілу (приблизно від -10 до $+5$), що відображає рівень невизначеності щодо точного значення параметра. Це узгоджується з раніше зазначеними широкими довірчими інтервалами.

5. Ймовірнісна інтерпретація: з огляду на графік (рис. 2.2.2) можна оцінити, що ймовірність негативного ефекту цифровізації на бюджетний дефіцит (його поглиблення) становить приблизно 70–80 %, тоді як імовірність позитивного ефекту (скорочення дефіциту) – майже 20–30 %.

Такий постеріорний розподіл свідчить про наявність помірних доказів на користь гіпотези про негативний вплив цифровізації на рівень бюджетного дефіциту, але водночас вказує на значний рівень невизначеності. Це типова ситуація для баєсівського аналізу з обмеженим

обсягом даних, коли модель виявляє певну тенденцію, але не може категорично усунути альтернативні гіпотези. У контексті ухвалення рішень цей розподіл дає змогу більш зважено оцінити можливі ефекти цифровізації, враховуючи не лише точкову оцінку, але й повний спектр правдоподібних значень параметра.

Щодо впливу ефекту цифровізації на державний борг, то за результатами баєсівського аналізу (табл. 2.2.6) маємо зауважити, що ця модель демонструє майже нульову центральну оцінку впливу DESI (0.08 євро) щодо досить широкого 95 % довірчого інтервалу, що охоплює як від'ємні, так і додатні значення. Це свідчить про відсутність статистично значущого зв'язку між цифровізацією та обсягом державного боргу на душу населення в обраній вибірці. Велике стандартне відхилення залишків ($\sigma \approx 22$ тис. євро) також вказує на значну невраховану гетерогенність між країнами та роками.

Формально такий вплив можна зобразити:

$$DpC_{it} = -3.56 - 0.08 \cdot DESI_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

із:

$$\begin{aligned} \mu_i &\sim \mathcal{N}(0; 1,00^2); \\ \varepsilon_{it} &\sim \mathcal{N}(0; 22222, 59^2). \end{aligned}$$

Хоча на теоретичному рівні цифровізація державного управління має потенціал сприяти підвищенню ефективності видатків, зменшенню втрат бюджету та покращенню боргової дисципліни, результати проведеного аналізу не виявили статистично значущого впливу DESI на ключові показники фіскальної стійкості. Можливими причинами відсутності чіткого ефекту може бути вплив зовнішніх шоків, зокрема пандемії COVID-19, що суттєво змінила боргову динаміку незалежно від рівня цифровізації.

Тому з метою коректного оцінювання впливу цифровізації на рівень державного боргу в країнах ЄС у рамках панельного аналізу з використанням баєсівської регресії доцільним є охоплення корекції Мандлака (Mundlak correction). У класичних моделях з випадковими ефектами існує припущення про незалежність індивідуальних ефектів від регресорів, що часто є надто обмежувальним у соціально-економічних дослідженнях. Порушення цього припущення призводить до зміщених і неефективних оцінок. Підхід Мандлака полягає у введенні

середніх значень незалежних змінних по крос-секціях (у цьому випадку по країнах), що дає змогу частково контролювати кореляцію між змінними та випадковими ефектами, забезпечуючи наближення до результатів моделі із фіксованими ефектами, зберігаючи водночас гнучкість випадкових коефіцієнтів.

У контексті застосування баєсівської ієрархічної моделі з випадковими коефіцієнтами така корекція забезпечує більш реалістичне представлення структурної неоднорідності між країнами, даючи змогу моделі одночасно враховувати як внутрішньочасові варіації (within variation), так і міжкраїнові (between variation). Це особливо важливо під час аналізу впливу цифровізації, яка має як короткострокові ефекти (через швидке впровадження політик), так і довгострокові (через структурні зміни в управлінні державними фінансами). Отже, охоплення корекції Мандлака підвищує достовірність отриманих результатів і забезпечує більшу валідність висновків щодо впливу цифрової трансформації на фіскальну стабільність.

Результати моделювання на основі проведеного баєсівського регресійного аналізу з використанням панельних даних і корекції Мандлака демонструють кілька важливих закономірностей щодо впливу індексу цифрової економіки та суспільства (DESI) на бюджетний дефіцит і державний борг країн ЄС (табл. 2.2.7).

Таблиця 2.2.7 – Результати оцінки впливу цифровізації на бюджетний дефіцит і державний борг із застосуванням методу баєсівської регресії в поєднанні із панельним аналізом і корекцією Мандлака

Показник	Бюджетний дефіцит	Державний борг
1	2	3
Короткостроковий ефект цифровізації	-44.12* [-84.16, -2.20]	-39.53 [-174.05, 92.10]
Довгостроковий ефект цифровізації	12.38 [-9.53, 34.33]	-9.19* [-1056.52, -3.31]
Міжкраїнна варіативність (SD)	538.59 [404.07, 733.84]	12643.46 [9575.19, 16973.06]
Варіативність впливу цифровізації (SD)	28.31 [20.12, 39.59]	122.27 [89.53, 168.86]
Кореляція між базовим рівнем і впливом цифровізації	0.52* [0.13, 0.79]	0.17 [-0.22, 0.53]

Продовження таблиці 2.2.7

1	2	3
Часові ефекти:		
2017	269.54* [74.86, 469.08]	-115.12 [-738.49, 513.83]
2018	392.56* [127.45, 654.08]	-110.40 [-948.42, 727.87]
2019	596.98* [234.54, 953.87]	-238.28 [-1365.52, 922.35]
2020	-827.07* [-1345.78, -323.06]	2 009.45* [369.94, 3639.81]
2021	-7.17 [-725.96, 680.71]	2 458.08* [229.28, 4713.50]
2022	596.31 [-254.12, 1398.76]	1 718.72 [-904.59, 4379.50]
2023	783.04 [-328.50, 1840.30]	1 440.17 [-2029.63, 4927.43]
Стандартне відхилення помилки (sigma)	324.89 [290.34, 364.23]	1 037.73 [929.69, 1162.17]

Примітка. Значення в квадратних дужках представляють 95 % довірчий інтервал.

Зірочкою (*) позначені статистично значущі ефекти (довірчий інтервал не містить нуля). Для бюджетного дефіциту від'ємні значення означають збільшення дефіциту (погіршення фіскального балансу), для державного боргу від'ємні значення означають зменшення боргу.

Джерело: розраховано автором.

Короткостроковий ефект цифровізації в його впливі на бюджетний дефіцит є статистично значущим і свідчить про збільшення бюджетного дефіциту в короткостроковій перспективі, що підтверджує раніше висловлену нами тезу про збільшення бюджетних видатків, пов'язаних з цифровізацією (інвестиції в цифрову інфраструктуру, модернізацію державних послуг тощо).

Конкретніше, збільшення значення DESI на одну одиницю пов'язане зі збільшенням бюджетного дефіциту на особу приблизно на 44,12 євро.

Натомість довгостроковий ефект цифровізації пов'язаний зі зменшенням бюджетного дефіциту в середньому на 12,38 євро на особу, але оскільки довірчий інтервал містить нуль, не можемо зробити статистично значущий висновок про вплив середнього рівня цифровізації на бюджетний дефіцит у довгостроковій перспективі (рис. 2.2.3).

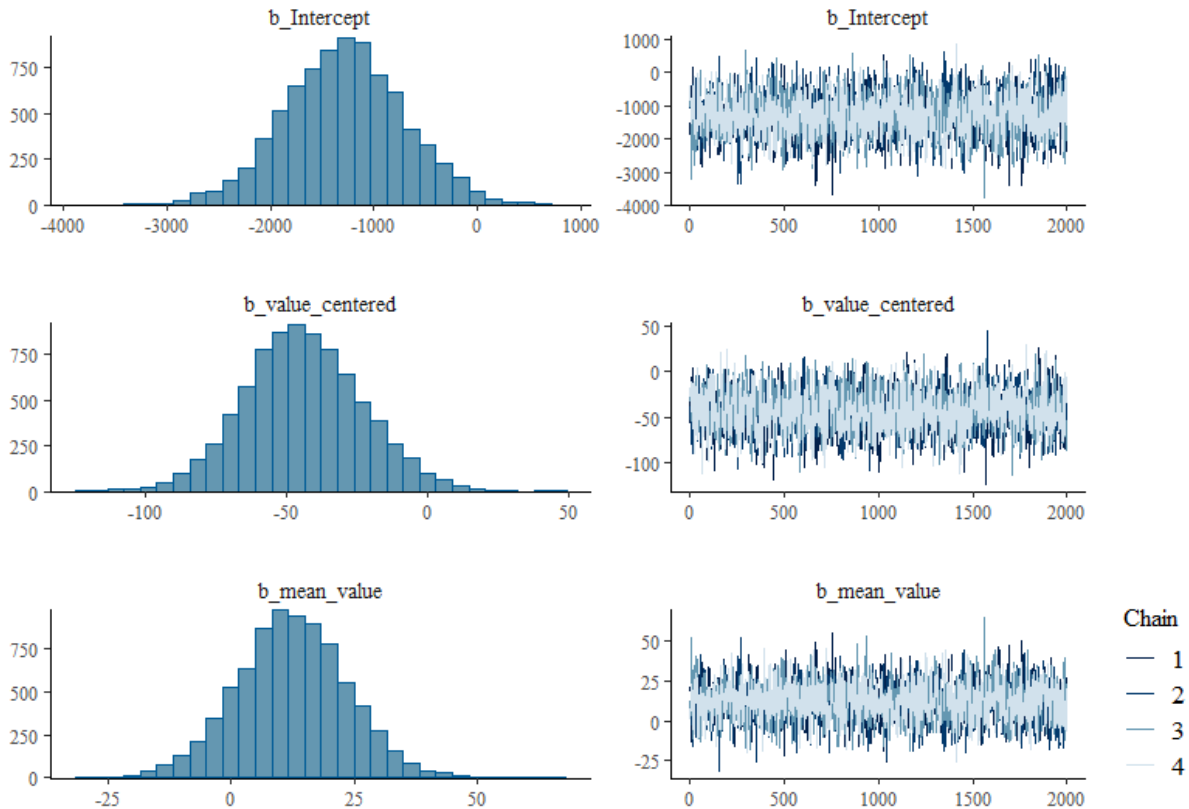


Рисунок 2.2.3 – Оцінка впливу цифровізації на бюджетний дефіцит із застосуванням методу баєсівської регресії в поєднанні із панельним аналізом і корекцією Мандлака

Джерело: складено автором.

Аналіз часових ефектів показує їхній значний вплив упродовж аналізованого періоду. У 2017–2019 роках спостерігається поступове скорочення бюджетного дефіциту, тоді як 2020 року – різке його нарощування, що, безперечно, пов’язано із впливом пандемічної кризи COVID-2019. З 2021 року спостерігається поступова стабілізація до скорочення дефіциту бюджету 2022–2023 роках.

Значне стандартне відхилення для випадкових ефектів вказує на суттєві відмінності в базовому рівні бюджетного дефіциту між країнами. Крім того, кореляція між випадковими ефектами для перехоплення та значення цифровізації (0.52) свідчить про те, що країни з вищим базовим дефіцитом мають тенденцію до ще більш значного збільшення дефіциту від впливу цифровізації.

Загалом модель впливу цифровізації на бюджетний дефіцит можна представити так:

$$SDpC_{it} = -1291,95 - 44,12 \cdot DESI_{it}^{centered} + \\ + 12,38 \cdot \overline{DESI}_i + \sum_{t=2017}^{2023} \gamma_t D_t + u_{0i} + u_{1i} \cdot DESI_{it}^{centered} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

де:

$DESI_{it}^{centered}$ – відхилення значення індексу цифровізації від середнього для країни i в році t ;

u_{0i} – випадковий ефект для перехоплення

$$u_{0i} \sim \mathcal{N}(0; 538, 59^2);$$

u_{1i} – випадковий ефект для нахилу

$$u_{0i} \sim \mathcal{N}(0; 28, 31^2);$$

$$\text{cor}(u_{0i}, u_{1i}) = 0,52;$$

ε_{it} – залишкова похибка

$$\varepsilon_{it} \sim \mathcal{N}(0; 324, 89^2).$$

Короткостроковий вплив цифровізації на державний борг засвідчує негативний вплив (у середньому скорочення боргу на 39,53 євро на особу), але не можемо зробити статистично значущий висновок про короткостроковий вплив цифровізації на державний борг, оскільки довірчий інтервал містить нуль (табл. 2.2.7, рис. 2.2.4).

Водночас у довгостроковій перспективі підвищення середнього рівня цифровізації пов'язане зі зменшенням державного боргу на особу (в середньому на 9,19 євро) і це значення є статистично значущим (табл. 2.2.7, рис. 2.2.4).

Аналіз часових ефектів показує їхній значний вплив упродовж аналізованого періоду. У 2017–2019 роках спостерігається незначне скорочення державного боргу, тоді як у 2020–2021 роках – різке нарощування, що відображає фіскальні наслідки пандемічної кризи. З 2022 року спостерігається поступове зменшення нарощування державного боргу, але вплив на державний борг усе ще залишається позитивним, що пов'язано з посткризовим стимулюванням економіки.

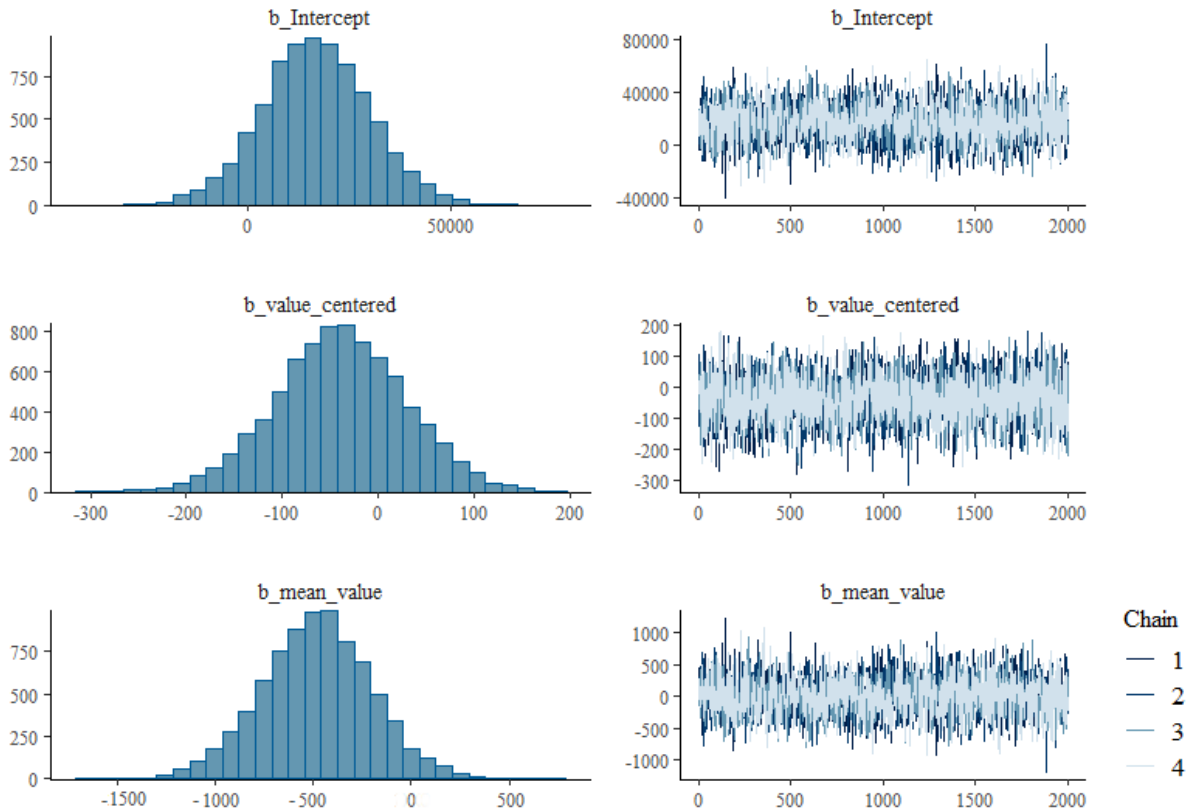


Рисунок 2.2.4 – Оцінка впливу цифровізації на державний борг із застосуванням методу баєсівської регресії в поєднанні з панельним аналізом і корекцією Мандлака

Джерело: складено автором.

Значне стандартне відхилення для випадкових ефектів вказує на суттєві відмінності в базовому рівні державного боргу між країнами. Кореляція між випадковими ефектами (0.17) є слабкою та статистично незначущою, що свідчить про відсутність чіткого зв'язку між базовим рівнем боргу та впливом цифровізації.

Загалом модель впливу цифровізації на державний борг можна представити так:

$$DpC_{it} = 17307,88 - 39.53 \cdot DESI_{it}^{centered} - 9,19 \cdot \overline{DESI}_t + \sum_{t=2017}^{2023} \gamma_t D_t + u_{0i} + u_{1i} \cdot DESI_{it}^{centered} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

де випадкові ефекти розподілені так:

$$\begin{aligned} u_{0i} &\sim \mathcal{N}(0; 12643, 46^2); \\ u_{0i} &\sim \mathcal{N}(0; 122, 27^2); \\ cor(u_{0i}, u_{1i}) &= 0.17; \\ \varepsilon_{it} &\sim \mathcal{N}(0; 1037, 73^2). \end{aligned}$$

За результатами аналізу на основі баєсівської регресії із застосуванням панельного підходу та корекції часових ефектів Мандлака можна зробити такі висновки:

1. Цифровізація має статистично значущий вплив на зростання бюджетного дефіциту в короткостроковій перспективі, проте в довгостроковій перспективі цифровізація впливає на поступове скорочення бюджетного дефіциту (цей ефект не є достатньо статистично визначеним).

2. Цифровізація має статистично значущий позитивний вплив у довгостроковій перспективі на зниження державного боргу, але невизначений ефект у короткостроковому періоді.

3. Країни з вищим базовим бюджетним дефіцитом мають тенденцію до ще більш значного збільшення дефіциту від впливу цифровізації. Це вагомий висновок, який свідчить про те, що країни з уже наявними фіскальними проблемами можуть зіткнутися з додатковими фіскальними викликами під час впровадження цифрових технологій у короткостроковій перспективі.

Узагальнюючи результати, можна констатувати наявність тенденції до негативного зв'язку між рівнем цифровізації та державним боргом у країнах ЄС, що може відображати потенційну роль цифрової трансформації в підвищенні економічної ефективності й покращенні фіскальної спроможності держав. Водночас порівняно широкі довірчі інтервали вказують на потребу в обережності під час інтерпретації результатів і на доцільність подальших досліджень з урахуванням додаткових чинників впливу на бюджетний дефіцит і державний борг.

Варто зазначити кілька обмежень поточного аналізу:

– можливі опущені змінні: хоча модель враховує багато чинників через охоплення випадкових ефектів і часових фіксованих ефектів, можуть існувати інші важливі змінні, які впливають як на цифровізацію, так і на фіскальні показники;

– подальша деталізація механізмів: майбутні дослідження могли б зосередитися на конкретних каналах впливу цифровізації на фіскальні показники (наприклад, через податкові надходження, оптимізацію державних витрат, зростання продуктивності тощо), варто також перевірити гіпотезу про відкладений вплив (з лагами 2–3 і більше років, що, однак, на цьому етапі є обмеженим через невелику кількість спостережень щодо індексів, які виражають цифровий розвиток);

– аналіз на рівні компонентів DESI: дослідження могло б бути розширене за рахунок аналізу впливу окремих компонентів індексу DESI на фіскальні показники, що допомогло б визначити найбільш ефективні напрями цифрової трансформації.

На основі отриманих результатів можна сформулювати кілька рекомендацій для економічної політики:

1. Інвестиції в цифровізацію можуть вимагати додаткових фіскальних ресурсів у короткостроковому періоді, збільшуючи дефіцит, але в довгостроковій перспективі сприяють зниженню державного боргу.

2. Країни з вищими рівнями дефіциту бюджету повинні бути готові до потенційного подальшого погіршення фіскального балансу в короткостроковому періоді під час інвестування в цифрову трансформацію.

3. Планування фіскальної політики повинно враховувати цю тимчасову асиметрію ефектів, передбачаючи більший фіскальний простір для інвестицій у цифровізацію з розумінням, що ці інвестиції можуть окупитися через зниження державного боргу в довгостроковій перспективі.

4. Під час кризових явищ (наприклад, пандемія COVID-19) країни з вищим рівнем цифровізації можуть зіткнутися з більшими фіскальними викликами в короткостроковому періоді, але потенційно мати кращі умови для відновлення в довгостроковій перспективі.

Загалом отримані результати вказують на те, що вплив цифровізації на бюджетний дефіцит і державний борг реалізується переважно через довгострокові структурні зміни в економіці, а не через короткострокові коливання рівня цифрового розвитку. Це підкреслює важливість послідовної та довгострокової політики цифрової трансформації для забезпечення стійкого зростання економіки, відтак і податкової бази, ефективності податкового адміністрування й бюджетної політики і на цій основі скорочення бюджетного дефіциту та державного боргу.