

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

Інститут інформаційних технологій в економіці

Кафедра штучного інтелекту, моделювання та статистики

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика»

Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»

Спеціальність 051 «Економіка»

Форма навчання: очна (денна)

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему **«Аналіз та моделювання показника ефективності публічних закупівель
для потреб відбудови України»»**

(назва теми)

здобувача Давидова Всеволода Анатолійовича
(ПІБ)

(підпис)

Науковий керівник: кандидат економічних наук,
доцент Маргарита МАЗУР

(підпис)

**Робота допущена до захисту перед екзаменаційною комісією з
атестації здобувачів вищої освіти (ЕК)**

Завідувач кафедри: кандидат фізико-математичних наук,
професор Галина ВЕЛИКОІВАНЕНКО

(підпис)

Київ 2026

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

Інститут інформаційних технологій в економіці

Кафедра штучного інтелекту, моделювання та статистики

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика»

Галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»
Спеціальність 051 «Економіка»

ПОГОДЖЕНО

Керівник проектної групи (гарант)
освітньо-професійної програми
Ольга ПРИТОМАНОВА

(підпис)

2026 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри штучного
інтелекту, моделювання та статистики
Галина ВЕЛИКОІВАНЕНКО

(підпис)

2026 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

здобувача вищої освіти

Давидова Всеволода Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

очної (денної)

форми здобуття освіти

очної (денної), заочної, дистанційної

на підготовку кваліфікаційної бакалаврської роботи

на тему

«Аналіз та моделювання показника ефективності публічних закупівель для потреб
відбудови України»

Тему затверджено наказом ректора Університету від «16» березня 2026 р .№ 417-ст

Кваліфікаційна бакалаврська робота виконується на матеріалах

аналітичного модуля системи публічних закупівель ВІ Prozorro (<https://bi.prozorro.org/>),
нормативно-правових актів України у сфері публічних закупівель,
аналітичних звітів Міністерства економіки України та міжнародних досліджень з питань
ефективності публічних закупівель.

План кваліфікаційної бакалаврської роботи

Розділ 1	Теоретичні та методичні основи дослідження ефективності публічних закупівель для потреб відбудови України
Розділ 2	Економетричне моделювання показника ефективності закупівель для потреб відбудови України
Розділ 3	Сценарне моделювання показника ефективності закупівель в умовах повоєнної відбудови

Об'єкт дослідження:	показник ефективності публічних закупівель
Предмет дослідження:	методи та моделі машинного навчання, що застосовуються для дослідження ефективності публічних закупівель
Мета виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи:	моделювання показника ефективності публічних закупівель за допомогою регресійного аналізу, здійснення короткочасного прогнозу та порівняння точності моделей між собою

Конкретні завдання, які здобувач повинен виконати для досягнення поставленої мети:

У розділі 1: 1) розкрити економічну сутність та роль публічних закупівель у процесах післявоєнної відбудови України; 2) визначити особливості здійснення закупівель в умовах воєнного стану та їх вплив на конкурентність процедур; 3) проаналізувати підходи до оцінювання ефективності публічних закупівель та обґрунтувати вибір показника ефективності (відносної економії бюджетних коштів)

У розділі 2: 1) описати інформаційну базу для моделювання; 2) здійснити побудову багатофакторної економетричної моделі ефективності закупівель методом множинної лінійної регресії; 3) оцінити точність економетричної моделі; 4) визначити головні чинники впливу на рівень ефективності закупівель;

У розділі 3: 1) визначити методологію побудови прогнозних сценаріїв; 2) побудувати базовий, оптимістичний та песимістичний сценарії динаміки ефективності; 3) здійснити кількісну оцінку чутливості показника ефективності до зміни конкурентного середовища та тривалості процедур; 4) провести стрес-тестування сценаріїв

Завдання підготував
науковий керівник

(підпис)

Маргарита МАЗУР
(ім'я, прізвище)

«__» _____ 2026 р.

Завдання одержав
здобувач

(підпис)

Всеволод ДАВИДОВ
(ім'я, прізвище)

«__» _____ 2026 р.

Реферат

Кваліфікаційна бакалаврська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаних джерел, що містить 30 найменувань на 4 сторінках, та 1 додатка на 24 сторінках. Загальний обсяг роботи складає 107 сторінок друкованого тексту, з яких 79 сторінок основної частини. Робота містить 11 рисунків та 27 таблиць.

«Аналіз та моделювання показника ефективності публічних закупівель для потреб відбудови України»

Об'єктом дослідження є показник ефективності публічних закупівель.

Предметом дослідження є методи та моделі машинного навчання, що застосовуються для дослідження ефективності публічних закупівель.

Мета та завдання виконання дослідження. Метою дослідження є моделювання показника ефективності публічних закупівель за допомогою регресійного аналізу, здійснення короткочасного прогнозу та порівняння точності моделей між собою.

Відповідно до поставленої мети визначені такі *завдання*:

- Розкрити сутність та особливості системи публічних закупівель в Україні, проаналізувати її функціонування в умовах воєнного стану та обґрунтувати методологічну необхідність сегментації вибірки тендерів за масштабом.
- Систематизувати міжнародний науковий досвід з моделювання ефективності публічних закупівель та порівняти провідні цифрові закупівельні системи.
- Сформувати інформаційну базу на основі мікроданих аналітичного блоку «Prozorro» для будівельних тендерів за 2023–2024 роки та провести описовий і кореляційний аналіз вибірки.
- Побудувати багатофакторні економетричні моделі впливу процедурних факторів на показник відносної фінансової економії для трьох цінових сегментів.
- Провести комплексну діагностику моделей.
- Розробити три прогнозні сценарії ефективності закупівель для кожного сегмента та побудувати точкові прогнози.
- Здійснити аналіз чутливості показника ефективності до зміни ключових процедурних факторів та провести стрес-тестування сценаріїв.

Теоретична, методична та практична значущість отриманих результатів. Теоретичне значення полягає у систематизації факторів формування фінансової ефективності публічних закупівель та обґрунтуванні застосовності класичної теорії аукціонів до українського ринку будівельних підрядів. Розроблено три множинні регресійні моделі для цінових сегментів з робастними стандартними похибками, доповнену сценарним моделюванням з довірчими інтервалами.

Практичне значення полягає у тому, що кількісна оцінка впливу процедурних факторів на показник відносної фінансової економії можуть бути використані замовниками у політиці стимулювання конкуренції на тендерах; побудовані сценарні прогнози дозволяють кількісно оцінити потенціал економії бюджетних коштів у процесі відбудови інфраструктури України.

Рік виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи – 2026.

Рік захисту роботи – 2026.

Ключові слова: публічні закупівлі, відносна фінансова економія, економетричне моделювання, множинна регресія, сценарне прогнозування, відбудова України, будівельні тендери.

В і д г у к
про кваліфікаційну бакалаврську роботу
здобувача освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика»
навчально-наукового інституту
«Інститут інформаційних технологій в економіці»
Давидова Всеволода Анатолійовича
на тему: «Аналіз та моделювання показника ефективності публічних закупівель для
потреб відбудови України»

1. Актуальність теми: Проблематика підвищення ефективності публічних закупівель є актуальною для України в умовах тривалого збройного конфлікту та повоєнної відбудови. Дослідження відповідає завданням державної фінансової політики та вимогам міжнародних донорів щодо прозорості витрачання коштів на відбудову.
2. Позитивні риси кваліфікаційної бакалаврської роботи: Робота відзначається системним підходом і логічною структурою. Здобувач самостійно сформував інформаційну базу на основі мікроданих системи «Prozorro», обґрунтував сегментований економетричний підхід та провів комплексну діагностику побудованих моделей із застосуванням широкого набору статистичних тестів.
3. Наявність самостійних розробок автора: Здобувачем особисто розроблено методологію аналізу, програмний код обробки даних та побудови моделей, сформульовано три прогностичні сценарії з кількісною оцінкою бюджетного ефекту і проведено аналіз чутливості та стрес-тестування за регіональними профілями.
4. Цінність теоретичних висновків та практичних рекомендацій: Теоретичні висновки роботи розширюють розуміння факторів формування ефективності публічних закупівель. Практичні рекомендації щодо стимулювання конкуренції та оптимізації закупівельних процедур можуть бути використані замовниками та органами регулювання.
5. Наявність недоліків: окремі положення роботи потребують більш детального обґрунтування, зокрема щодо обмеженої пояснювальної здатності моделей та методологічних підходів до врахування регіональної специфіки у подальших дослідженнях. Зазначені зауваження залишають місце для майбутніх досліджень цієї теми і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.
6. Загальна оцінка кваліфікаційної бакалаврської роботи та її допущення до захисту перед ЕК: Кваліфікаційна бакалаврська робота Давидова В.А. «Аналіз та моделювання показника ефективності публічних закупівель для потреб відбудови України» є самостійним завершеним дослідженням, відповідає вимогам, що висуваються для даного типу робіт, може бути рекомендована до захисту перед ЕК. Рівень виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи «високий».

Науковий керівник:

к.е.н., доцент, доцент кафедри

штучного інтелекту, моделювання та статистики

Мазур М.В.

“ ____ ” _____ 20__ року

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПУБЛІЧНИХ ЗАКУПІВЕЛЬ ДЛЯ ПОТРЕБ ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ	8
1.1 Сутність та роль публічних закупівель у процесах відбудови України	8
1.2 Особливості здійснення закупівель в умовах воєнного стану та їх вплив на конкурентність процедур	13
1.4 Обґрунтування сегментаційного підходу до аналізу будівельних тендерів	20
1.5 Огляд міжнародного досвіду моделювання ефективності публічних закупівель	23
РОЗДІЛ 2. ЕКОНОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКУПІВЕЛЬ ДЛЯ ПОТРЕБ ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ	27
2.1 Опис інформаційної бази для моделювання.....	27
2.2 Побудова багатофакторної економетричної моделі ефективності закупівель ..	33
2.4 Визначення головних чинників впливу на рівень ефективності закупівель	48
РОЗДІЛ 3. СЦЕНАРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКУПІВЕЛЬ В УМОВАХ ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ	52
3.1 Методологія побудови прогнозних сценаріїв	52
3.2 Побудова базового, оптимістичного та песимістичного сценаріїв	55
3.3 Кількісна оцінка чутливості показника ефективності	60
3.4 Стрес-тестування сценаріїв	65
3.5 Оцінка стійкості прогнозних сценаріїв	68
ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ДОДАТКИ	79

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AIC	інформаційний критерій Акайке
BIC	байєсівський інформаційний критерій
BI Prozorro	аналітичний модуль бізнес-аналітики системи «Prozorro»
CI	довірчий інтервал (Confidence Interval)
CPV	Єдиний закупівельний словник (Common Procurement Vocabulary)
DREAM	Цифрова екосистема відбудови та підзвітності
HC3	робастна оцінка коваріаційної матриці типу White HC3
KONEPS	південнокорейська онлайн-система електронних закупівель
MEAT	найекономічно вигідніша пропозиція (Most Economically Advantageous Tender)
OCDS	міжнародний стандарт відкритих контрактних даних
OECD	Організація економічного співробітництва та розвитку
OLS	метод найменших квадратів (Ordinary Least Squares)
RSR	відносна фінансова економія (Relative Savings Rate)
RESET	тест специфікації рівняння регресії Рамсея
RSS	сума квадратів залишків (Residual Sum of Squares)
SE	стандартна похибка (Standard Error)
TED	офіційний електронний журнал тендерних оголошень ЄС
TSS	загальна сума квадратів (Total Sum of Squares)
VIF	фактор інфляції дисперсії (Variance Inflation Factor)
АМКУ	Антимонопольний комітет України
ВВП	валовий внутрішній продукт
ЄБРР	Європейський банк реконструкції та розвитку
ЄС	Європейський Союз
МНК	метод найменших квадратів
ОТГ	об'єднана територіальна громада
ОЕСР	Організація економічного співробітництва та розвитку
COT	Світова організація торгівлі
DW	тест Дарбіна–Уотсона на автокореляцію залишків
JB	тест Жарка–Бера на нормальність розподілу залишків
BP	тест Бройша–Пагана на гетероскедастичність

ВСТУП

У сучасних умовах подолання наслідків повномасштабної війни, питання ефективної відбудови зруйнованої інфраструктури України набуває безпрецедентної актуальності. Світовий Банк оцінює вартість повоєнного відновлення в понад сотню мільярдів доларів. Обмеженість державного бюджету і макроекономічні виклики спонукають до максимально ефективного використання коштів. Одним із головних інструментів прозорого розподілу коштів на відбудову є електронна система публічних закупівель «Prozorro». Важливе місце у цьому процесі займає будівельний сектор, на який припадає переважна частина капітальних видатків держави. Специфіка ринку публічних будівельних робіт полягає у його високій капіталомісткості, олігополістичній структурі на рівні великих генеральних підрядників, підвищеній чутливості до інфляційних ризиків. Це робить механізми ціноутворення та конкурентної боротьби складнішими порівняно із закупівлями типових товарів. З огляду на інфраструктурні проєкти, які характеризуються надвисокою вартістю, тривалими строками реалізації та значними корупційними ризиками, традиційні підходи до моніторингу витрат виявляються недостатньо ефективними. Незважаючи на теоретичну базу вітчизняних досліджень у сфері публічних фінансів, комплексні емпіричні дослідження, які спираються на масиви мікроданих системи «Prozorro» в умовах воєнного стану, майже не проводяться. Виникає необхідність у застосуванні сучасного економетричного інструментарію для виявлення прихованих резервів оптимізації бюджетних коштів безпосередньо на етапі проведення тендерних процедур. Відповідно, обрана тема набуває особливої актуальності у контексті дослідження факторів, які мають здатність максимізувати фінансову економію на інфраструктурних тендерах.

Актуальність теми визначається необхідністю кількісного обґрунтування процедурних чинників, які формують фінансову економію бюджетних коштів при

проведенні публічних будівельних закупівель в умовах воєнного стану та повоєнної відбудови. Результати моделювання мають прямі практичні наслідки для замовників, регуляторів та міжнародних партнерів. Вони дозволяють виявити приховані резерви оптимізації витрат на етапі проведення тендерних процедур.

Питання моделювання ефективності публічних закупівель розглядається у *працях вітчизняних та зарубіжних авторів*. Класичні теоретичні засади теорії аукціонів закладено у роботах Р. Макафі та Дж. Макміллана (1987), а також П. Клемперера (2002), де обґрунтовано умови оптимальності зворотних англійських аукціонів. Цей формату покладено в основу електронного редукування системи «Prozorro». Емпіричне моделювання факторів ефективності публічних закупівель на основі мікроданих представлено у працях П. Баджарі, Р. Макміллана та С. Таделіса (2009) на матеріалах каліфорнійських дорожньо-будівельних контрактів, Д. Ковієлло та М. Маріньєлло (2014) на матеріалах італійських тендерів, а також Г. Льюїса та П. Баджарі (2011) щодо впливу тривалості процедури на результат. Серед вітчизняних досліджень виокремлюються праці Г. Монастирського та Т. Копестинського, які присвячені аналізу ефективності закупівель в умовах воєнного стану. Однак існуючі дослідження зазвичай обмежуються описовою статистикою на агрегованих даних.

Метою дослідження є моделювання показника ефективності публічних закупівель за допомогою регресійного аналізу, здійснення короткочасного прогнозу та порівняння точності моделей між собою.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Розкрити сутність та особливості системи публічних закупівель в Україні, проаналізувати її функціонування в умовах воєнного стану та обґрунтувати методологічну необхідність сегментації вибірки тендерів за масштабом закупівлі.
2. Систематизувати міжнародний науковий досвід з моделювання ефективності публічних закупівель та провести порівняльний аналіз провідних цифрових закупівельних систем.

3. Сформувати інформаційну базу на основі мікроданих аналітичного блоку «Prozorro» для будівельних тендерів категорії за 2023–2024 роки, здійснити очищення та створення нових ознак, провести описовий і кореляційний аналіз вибірки.

4. Побудувати багатофакторні економетричні моделі впливу процедурних факторів на показник відносної фінансової економії для трьох цінових сегментів із застосуванням робастних стандартних похибок.

5. Провести комплексну діагностику моделей з використанням тестів Бройша-Пагана, Уайта, Жарка-Бера, Дарбіна-Уотсона, RESET, відстані Кука та фактора інфляції дисперсії VIF. Формально перевірити доцільність сегментації за допомогою тесту Чоу та оцінити робастність специфікації.

6. Розробити три прогностичні сценарії ефективності закупівель для кожного сегмента, побудувати точкові прогнози та оцінити очікуваний бюджетний ефект.

7. Здійснити аналіз чутливості показника ефективності до зміни ключових процедурних факторів та провести стрес-тестування сценаріїв за регіональними профілями конкурентності.

Об’єктом дослідження є показник ефективності публічних закупівель.

Предметом дослідження є методи та моделі машинного навчання, що застосовуються для дослідження ефективності публічних закупівель.

Інформаційною базою дослідження є наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених, нормативно-правові акти України у сфері закупівель, а також мікроекономічний масив даних відкритого джерела статистичної інформації, яким виступає аналітичний блок системи електронних закупівель «Prozorro».

Методи дослідження: статистичний аналіз; описова статистика; кореляційний аналіз Пірсона; метод найменших квадратів з робастними стандартними похибками для оцінювання багатофакторних регресій; тест Чоу для формальної перевірки доцільності сегментації; тести Бройша–Пагана та Уайта для діагностики гетероскедастичності; тест Жарка–Бера для перевірки нормальності розподілу залишків; тест Дарбіна–Уотсона для виявлення автокореляції; тест Рамсея для

перевірки коректності функціональної специфікації; розрахунок фактора інфляції дисперсії для діагностики мультиколінеарності; розрахунок відстані Кука для виявлення впливових спостережень; метод сценарного моделювання з підстановкою параметрів для побудови точкових прогнозів; розрахунок довірчих інтервалів прогнозу; аналіз чутливості до зміни факторів; стрес-тестування за регіональними профілями конкурентності.

Теоретична, методична та практична значущість отриманих результатів. Теоретичне значення полягає у систематизації факторів формування фінансової ефективності публічних закупівель та обґрунтуванні застосовності класичної теорії аукціонів і міжнародного емпіричного досвіду до українського ринку будівельних підприємств. *Методичне значення:* розроблено триступеневу економетричну конструкцію з робастними стандартними похибками, доповнену сценарним моделюванням з довірчими інтервалами; запропонована методологія може бути застосована до аналогічних мікроекономічних масивів інших країн з цифровими закупівельними системами. *Практичне значення:* кількісні оцінки впливу процедурних факторів можуть бути використані Міністерством економіки України, Антимонопольним комітетом та замовниками при формуванні політики стимулювання конкуренції на тендерах; побудовані сценарні прогнози дозволяють оцінити потенціал економії бюджетних коштів у процесі відбудови інфраструктури.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПУБЛІЧНИХ ЗАКУПІВЕЛЬ ДЛЯ ПОТРЕБ ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ

1.1 Сутність та роль публічних закупівель у процесах відбудови України

Публічна закупівля – це придбання замовником товарів, робіт і послуг у порядку, встановленому відповідним Законом. Суб'єктом процесу виступає замовник. Ним можуть виступати державні органи, органи місцевого самоврядування, підприємства державної або комунальної форм власності, тощо. Предметом є товари, роботи і послуги. Порядок здійснення встановлюється Законом України "Про публічні закупівлі" [1]. За положеннями статті 2 профільного Закону, чіткі вартісні межі визначають необхідність проведення процедур публічних закупівель. Для звичайних державних замовників дія закону обов'язкова, якщо очікувана вартість товарів або послуг складає від 200 тис. гривень, для виконання робіт цей поріг знаходиться на рівні 1,5 млн гривень. Водночас, підприємств, які функціонують у окремих сферах економіки, передбачені вищі ліміти (від 1 млн. грн для товарних і сервісних закупівель, від 5 млн. гривень для будівельних і підрядних робіт). Коли очікувана вартість предмета закупівлі не досягає визначених порогів, але дорівнює чи перевищує 50 тис. гривень, замовникі зобов'язані використовувати процедуру спрощених закупівель або придбати через електронні каталоги. Закупівлі малої цінності у яких бюджет менший за 50 тис. гривень, законодавство допускає укладання прямих угод поза електронною системою. Проте ця гнучкість балансується вимогою публічного оприлюднення звіту про укладений договір на платформі «Prozorro» [2].

До 2016 року українська сфера державних закупівель характеризувалася досить низьким рівнем прозорості, нецифровізованим документообігом і

підвищеними корупційними ризиками, в першу чергу, через штучне обмеження доступу до інформації тендерів. Ситуація кардинально змінилася після Революції Гідності завдяки введенню електронної системи «Prozorro». У серпні 2016 року її використання стало обов'язковим для всіх публічних замовників. Сьогодні «Prozorro» — це цілком державна платформа. Вона перебуває в управлінні Кабінету Міністрів і координується Міністерством економіки [3]. Вона створює екосистему, яка через мережу авторизованих цифрових майданчиків об'єднує більше 35 тисяч державних замовників і 250 тисяч комерційних постачальників і забезпечує відкриті електронні аукціони [4]. Архітектура цієї системи з самого початку розроблялася з урахуванням основних принципів закупівель. До них відносяться: доброчесна конкуренція, найвища економія, відкритість на всіх етапах циклу тендера, відсутність дискримінації учасників, об'єктивності при визначенні переможця.

Діджиталізація дозволила перевести ці принципи з теорії на практику. Екосистема базується на міжнародному стандарті відкритих даних (Open Contracting Data Standard) [5]. Це дало можливість Україні приєднатися до Угоди СОТ про державні закупівлі. Відкритість даних створила можливості для глибокої аналітики, наприклад через використання публічних модулів бізнес-аналітики (BI Prozorro). Завдяки ним є можливість досліджувати ефективність витрачання коштів у режимі реального часу. Використання такого блоку застосовано у цьому дослідженні. Прийняття згаданого законодавчого акту зумовило мультиплікативний ефект трансформацій у інфраструктурній та інституційній сферах. Це посприяло системному реформуванню механізмів публічних закупівель. Основні напрями таких змін наведено на рис. 1.1.

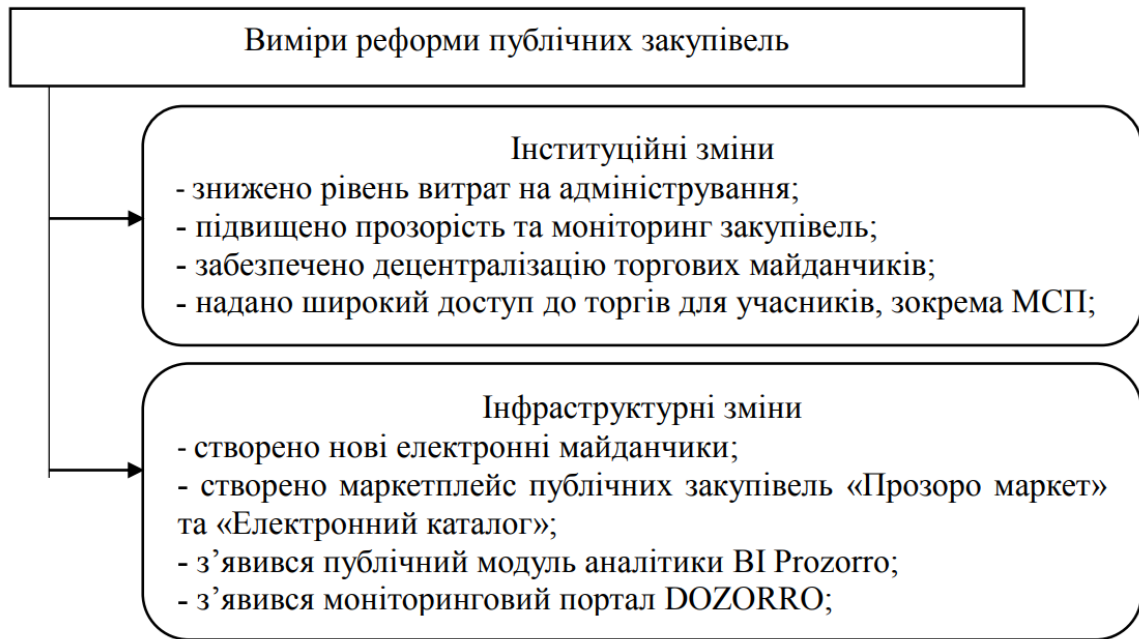


Рисунок 1.1 — Інституційні та інфраструктурні напрями реформування системи публічних закупівель в Україні

Джерело: розроблено автором [4]

Додатковою цифровою екосистемою звітності проєктів відбудови є платформа DREAM (Digital Reconstruction Ecosystem and Accountability Mechanism), яка почала працювати за підтримки Офісу Президента України у 2023 році [6]. «Prozorro» відповідає за процедурну частину тендеру, а DREAM займається моніторингом реального прогресу реалізації кожного об'єкта відбудови, починаючи з оголошення тендеру і до завершення робіт. Обидві платформи створюють єдину систему звітності і тим самим відповідає вимогам партнерів, яким важливо відстежувати, як використовуються кошти. Через це ефективність закупівельних процедур у «Prozorro» напряму залежить від зовнішнього фінансування.

У червні 2022 року Україна отримала статус кандидата на членство в ЄС. Це вплинуло на вимоги до системи публічних закупівель. Україна зобов'язалась привести алгоритми закупівлі у відповідність до Директиви ЄС 2014/24/ЄС у рамках скринінгу законодавства [7]. Директива зобов'язує використовувати електронні процедури і робити їх прозорими щодо оцінювання пропозицій. Також вона вносить концепцію

найекономічно вигіднішої пропозиції (Most Economically Advantageous Tender) замість критерію найнижчої ціни. Через це підвищення ефективності публічних закупівель це і фінансова необхідність, і зобов'язання України у веденні зовнішньої політики.

Відповідно до Люганської декларації про відновлення України, яка була підписана у липні 2022 року, світова спільнота зобов'язалась надати підтримку у відбудові. Умовою стало дотримання Україною принципів прозорості, відкритої звітності, верховенства права. Реалізацією цих зобов'язань виступає вимога від країн-донорів проводити закупівлі відповідно до стандартів Організації економічного співробітництва та розвитку [8]. Система «Prozorro» відповідає стандарту, тому вона визнана світовим суспільством як інструмент, який сумісний із такими вимогами.

У структурі відбудівного замовлення значну частину займає категорія будівельних робіт. Відновлення пошкоджених або зруйнованих житлових будівель, шкіл, лікарень, комунальних мереж, доріг та іншого належить до тендерів цієї категорії. Ринок закупівель у цьому секторі має велику фінансову ємність. За оцінкою KSE Institute, прями збитки, які наразі перевищують 170 млрд доларів, переважно стосуються інфраструктури. Її відновлення у більшості випадків потребує будівельних робіт. Через це можна вважати, що виділення коштів на відбудову через систему «Prozorro» створить попит на будівельні підряди. За отриманими даними з аналітичного блоку системи, у 2023–2024 роках через «Prozorro» пройшло приблизно 66 млрд гривень за цією категорією. Виходячи з розрахунків, якщо підвищити середню ефективність закупівель на один відсоток, це дасть змогу заощадити для бюджету 660 млн гривень кожного року. Таку суму можна прирівняти з відновленням десяти комунальних об'єктів в країні. Спираючись на такий контекст, для дослідження обрано будівельний сегмент.

Упродовж роботи електронної системи публічних закупівель видна стійка тенденція до зростання кількості процедур і обсягів укладених договорів. Кількість закупівель збільшилася з 900 тис. у 2017 році до 5 млн у 2021 році, загальна сума

укладених договорів зросла з 472 млрд грн до 965 млрд грн. Не дивлячись на це, сталий розвиток екосистеми публічних закупівель був порушений. Повномасштабне збройне вторгнення у лютому 2022 року призвело до руйнувань матеріального фонду України. За оцінкою Київської школи економіки (KSE Institute) станом на кінець 2024 року, сукупна вартість прямих втрат інфраструктури, житлового фонду, виробничих активів сягнула цифри у 170 млрд дол. США і продемонструвала зростання на 8% (12,6 млрд дол.) у порівнянні з початком року [9]. Такий структурний розріз збитків свідчить про те, що вразливішими секторами виявилися житлова нерухомість з втратами у 60,0 млрд дол. і транспортно-логістичні мережі з оцінками руйнувань на 38,5 млрд дол. У табл. 1.1 наведено більш детальну галузеву структуру збитків та їх динаміку.

Таблиця 1.1 — Загальна оцінка та структура прямих збитків інфраструктури України станом на листопад 2024 року

<i>Сектор економіки</i>	<i>Поточна оцінка втрат (листопад 2024), млрд дол. США</i>	<i>Частка прямих збитків у загальній структурі, %</i>	<i>Попередня оцінка (січень 2024), млрд дол. США</i>	<i>Темп приросту збитків, %</i>
Житлові будівлі	60	35,3	58,9	+ 1,9
Транспортна інфраструктура	38,5	22,7	36,8	+ 4,6
Енергетичний комплекс	14,6	8,6	10	+ 46,0
Промисловість	14,4	8,5	13,1	+ 9,9
Агропромисловий комплекс	10,3	6,1	10,3	0
Інші сектори (освіта, медицина)	32	18,8	28,1	+ 13,8
Всього	169,8	100	157,2	+8,0

Джерело: розроблено автором на основі даних [4]

Аналіз динаміки свідчить про зростання фінансового навантаження на державний бюджет. Загальна потреба у фінансуванні відбудови, за оцінками Світового банку, перевищує 500 млрд дол. США [10]. В умовах, де є жорсткий дефіцит

ресурсів, фінансування переважної частини інфраструктурних проєктів буде відбуватись через електронну систему публічних закупівель «Prozorro». Через це стає досить важливим питання моделювання факторів, які визначають відсоток економії на будівельних тендерах. Мінімальне підвищення фінансової ефективності закупівельних процедур здатне вивільнити мільярди гривень, які допоможуть компенсувати збитки, які зростають щодня.

1.2 Особливості здійснення закупівель в умовах воєнного стану та їх вплив на конкурентність процедур

Введення режиму воєнного стану в лютому 2022 року вимагало якомога скорішої адаптації регуляторного середовища. Класичні тендери, які регламентовані Законом України «Про публічні закупівлі», виявилися тривалими (від 15 до 30 днів) в умовах активних бойових дій для забезпечення потреб оборони і критичної інфраструктури. Наслідком стало те, що на початку війни уряд ухвалив рішення про тимчасове виведення більшої частини закупівель з дії стандартних механізмів конкуренції. Замовникам надали можливість укласти прямі договори без використання електронної системи «Prozorro» і керуватись тільки критеріями нагальності та швидкості постачання [11]. Це призвело до тимчасової втрати прозорості, і, що гірше, неможливості здійснювати фінансову економію коштів бюджету.

Коли ситуація з макроекономікою та на фронті відносно стабілізувалась, логічним було повернутись до принципів відкритої конкуренції. Таким чином, 12 жовтня 2022 року було ухвалено Кабінетом Міністрів України Постанову №1178, яка ввела новий механізм, яким стали «відкриті торги з особливостями». Цей нормативно-правовий акт вніс суттєві зміни у процес закупівель. Термін подання тендерних

пропозицій зменшили до 7 днів (для товарів і послуг) та 14 днів (для робіт) і це надало змогу замовникам швидше реагувати на потреби відбудови. Було закріплено можливість проведення тендеру та визначення переможця навіть якщо була подана тільки одна пропозиція (без кроку на зниження ціни). Також зменшились вимоги щодо надання учасниками документації, завдяки чому стало менше бюрократії для бізнесу під час війни» [12].

Законодавство адаптувалось, але воєнний стан мав негативний вплив на рівень конкурентності у публічних закупівлях. За даними центру аналітики «Dozorro» (Transparency International Ukraine), якщо наприклад до повномасштабного вторгнення (у 2019-2021 роках) середня кількість учасників на торгах стабільно була на рівні 2,5-2,6, то в перший рік війни показник впав до 1,79. Тільки 33% з усіх конкурентних процедур мали більше одного учасника [13]. На таке зниження конкуренції бізнесу у сферах капітального будівництва та відбудови вплинув цілий ряд зовнішніх факторів:

- масштабна мобілізація, міграція кваліфікованих робітників зменшили можливості будівельних компаній;
- за дослідженням «Dozorro», будівельний бізнес масово відмовляється працювати у прифронтових та регіонах з постійними обстрілами, тому що є ризик знищення дороговартісної техніки і загроза життю працівників, і при цьому держава ніяким чином не компенсує підрядникам такі втрати [14];
- коливання курсу, зростаюча інфляція змушують підрядників закладати більш високу маржу ризику в ціну або відмовлятися від участі у торгах із фіксованим кошторисом.

Через це, значна частка тендерів інфраструктури завершується тільки з одним учасником. За таких умов механізм електронного редукування (протилежність класичного аукціону, де перемагає учасник, який запропонував найнижчу ціну за товар чи послугу) не спрацьовує. Це призводить до укладання договорів за

початковою очікуваною вартістю і робить показник фінансової економії нульовим. У перший рік повномасштабної війни застосування прямих договорів було поширеним. За даними моніторингової платформи «Dozorro», за цей рік поза системою «Prozorro» було укладено договорів більше, ніж на 200 млрд гривень [15]. У цей період державний бюджет втрачав потенційну економію. Також це ускладнило подальший аудит витрат. У 2023 році OECD у відповідь на ці події надала рекомендації, як вдосконалити закупівельні систем країнам, які відновлюють економіку після конфліктів. Було наголошено на тому, що в першу чергу потрібно відновити конкурентні механізми у відбудові, так як це необхідно для можливості надавати офіційну допомогу у розвитку [16].

Розглянутий феномен потребує економетричного аналізу для оптимізації та пошуку управлінських рішень, яку будуть здатні підвищити конкуренцію на ринку відбудови. Динаміка показників, які пояснюють конкурентність дає змогу дослідити тенденції. На основі досліджень Transparency International Ukraine зібрано основні індикатори для будівельних тендерів за 2019–2024 роки у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 — Динаміка показників конкурентності будівельних тендерів України, 2019–2024 рр.

<i>Рік</i>	<i>Середня кількість учасників</i>	<i>Тендери з одним учасником, %</i>	<i>Середня ефективність, %</i>	<i>Примітка</i>
2019	2,52	38	18–19	Довоєнний базовий рівень
2020	2,48	40	18	Стабільний ринок
2021	2,56	37	19	Пікова конкурентність
2022	1,79	67	11–12	Рік повномасштабного вторгнення

Продовження таблиці 1.2

<i>Рік</i>	<i>Середня кількість учасників</i>	<i>Тендери з одним учасником, %</i>	<i>Середня ефективність, %</i>	<i>Примітка</i>
2023	2,50	51	16,9	Відновлення конкуренції
2024	2,62	49	16–17	Часткова стабілізація

Джерело: розроблено автором на основі даних [20,14]

За таблицею 1.2 середня ефективність будівельних тендерів є на 2 відсотки нижчою, ніж у довоєнний час. Частка тендерів, де була подана тільки однією пропозиція, зменшилась порівняно з 2022 роком, але досі перевищує оптимальний показник для конкурентного ринку вдвіче.

Один із вимірів впливу війни це нерівномірний розподіл конкуренції по регіонах. За даними «Dozorro», у 2023–2024 роках середня кількість учасників у Київській, Львівській, Вінницькій областях становила 3,2–3,8 осіб. У Запорізькій, Херсонській, Миколаївській областях з підвищеними ризиками безпеки життя, він становив 1,5–1,8 осіб. Таким чином, ефективність закупівель у різних регіонах значно відрізняється. Це пов'язано не з тим, як проводився тендер, а з рівнем безпеки у регіоні.

1.3 Показники ефективності публічних закупівель

У сучасній практиці управління державними фінансами ефективність публічних закупівель розглядається не як одиничний лінійний критерій, а як складна багатовимірна система [17]. Експерти Програми Європейського Союзу з підтримки управління державними фінансами в Україні (EU4PFM) розробили методологічні

підходи, згідно з якими, ключові показники ефективності визначаються як вимірювані індикатори, які відображають результативність управління витратами, якістю та часом в процедурах закупівель [18]. Європейська система моніторингу структурує ці показники, уникаючи хаотичного підходу.

Відповідно до згаданої методології, вся сукупність показників ефективності поділяється на шість категорій, де кожна відповідає за окремий етап чи аспект тендеру. Перша категорія дає змогу оцінити, наскільки швидко й організовано здійснюються процедури. Для цього враховують середню тривалість циклу закупівель і частку скасованих тендерів. Другою та одною з найважливіших є категорія вартості та співвідношення ціни і якості (концепція Value for Money). Вона спирається на рівень досягнутої фінансової економії та розмір відхилення фінальної вартості укладеного договору від початкового бюджету закупівлі. Третя категорія — це вимірюванні рівня конкуренції та доступу до ринку. Цей аспект визначається за допомогою аналізу частки конкурентних процедур у загальній кількості укладених договорів та середньої кількості пропозицій, які були подані на один тендер. Четверта категорія — прозорість та доброчесність. Рівень довіри до закупівельної системи вимірюється конкретними даними, такими як частота поданих скарг від учасників та рівень використання інструментів повністю електронних закупівель. Система моніторингу враховує довгострокові фактори впливу на сферу публічних фінансів. П'ята категорія оцінює спроможність та інституційний розвиток замовників, тобто рівень професійної кваліфікації персоналу. Шостий вимір — сталий розвиток. Він розглядає закупівлі як інструмент державної політики і передбачає постійний моніторинг частки «зелених» і соціально відповідальних тендерів. Для повної оцінки ефективності державних закупівель доцільно буде застосовувати показники з усіх шести категорій. Проте, експерти наголошують, що на практиці вибір конкретних показників для аналізу не може бути універсальним. Він має бути прив'язаним до поточних стратегічних цілей держави і враховувати макроекономічні виклики, які на момент оцінки стоять перед державою. Система «Prozorro» дає можливість

відстежувати більшість із зазначених показників у реальному часі через аналітичний модуль BI Prozorro [19]. Завдяки цьому її роль не обмежується закупівлями. Вона також є інструментом для дослідницької, регуляторної аналітики. Зокрема, завдяки відкритому публічному доступу до нього, було сформовано базу дослідження у вигляді масиву даних тендерів. Тому, з урахуванням воєнного стану і дефіциту державного бюджету, критерієм успішності закупівель для потреб відбудови стає максимізація збережених коштів. Таким чином, для подальшого економетричного моделювання обрано показник відносної фінансової економії (Relative Savings Rate).

Вибір саме відносного (відсоткового), а не абсолютного (у гривнях) показника зумовлений необхідністю забезпечення порівнюваності даних. Оскільки вибірка будівельних тендерів характеризується гетерогенністю масштабів (від дрібних ремонтів на сотні тисяч гривень до інфраструктурних проєктів на мільярди гривень), використання абсолютної економії призвело б до статистичного зміщення (гетероскедастичності) моделі на користь великих контрактів. Відносна економія нівелює цей ефект масштабу. Вона дозволяє порівнювати ефективність аукціонів незалежно від їхнього бюджету. Показник розраховується як відсоткове відношення різниці між початковою очікуваною вартістю закупівлі та фінальною сумою укладеного договору до початкової очікуваної вартості:

$$RSR_i = \frac{EV_i - CV_i}{EV_i} \times 100\%, \quad (1.1)$$

де RSR_i – відносна фінансова економія (Relative Savings Rate);

EV_i – очікувана вартість закупівлі (Expected Value);

CV_i – фактична вартість укладеного договору (Contract Value).

Відносна фінансова економія демонструє рівень фінансової ефективності конкретного тендеру. Чим вище значення цього показника, тим більш ефективно були використані державні ресурси. Очікувана вартість закупівлі — це початкова максимальна ціна лота, встановлена та опублікована замовником у системі «Prozorro» до початку прийому пропозицій. Ця величина формується на основі попереднього аналізу ринку та наявного кошторису. Фактична вартість укладеного договору — це

фінальна сума, за якою було підписано контракт із переможцем після завершення всіх етапів електронного редукування.

Використання відносного показника як залежної змінної дозволяє мінімізувати проблему масштабної гетероскедастичності. Така проблема є критичною для фінансових мікроданих із великим розкидом значень. Абсолютна економія у мільйон гривень на будівництві моста та на ремонті сільської школи має кардинально різну економічну вагу, а відсотковий показник приводить усі спостереження до єдиного знаменника.

Водночас, вибірка залишається неоднорідною. Ринок дрібних будівельних підприємств розміром до 1 млн грн працює за іншими законами конкуренції та ціноутворення, ніж ринок великих проєктів розміром понад 5 млн грн. Наприклад, такі показники, як кількість учасників, олігополізація, премії за ризик підприємців, ефективність редукування відрізняються залежно від масштабу закупівлі. Якщо об'єднати всі тендери в одну регресійну модель, це призведе до так проблеми «змішаної популяції». Вона знижує коефіцієнт детермінації і спотворює оцінки коефіцієнтів. Через це, моделювання проводиться для кожної групи тендерів окремо.

Діюча система публічних закупівель має значний, але не повністю реалізований потенціал для фінансової оптимізації. Теоретичний аналіз процедурних факторів вказує на їхній імовірний вплив на фінальну ціну контракту. Однак для ізольованого вимірювання сили цього впливу, очищення його від шумів та уникнення хибних кореляцій недостатньо.

1.4 Обґрунтування сегментаційного підходу до аналізу будівельних тендерів

Доцільність об'єднання тендерів різних масштабів в єдину аналітичну вибірку є одним із питань мікроекономічного аналізу ринку. За теорією ринокової організації, будівельні ринки різного масштабу мають різні структурні вимоги. Сегмент закупівель нижнього цінового діапазону тендерів має низький поріг входу, велику кількість потенційних виконавців, прозорі цінові сигнали. За таких умов електронний редукціон працює ефективно. Кожен додатковий учасник впливає на ціну. Ринок верхнього діапазону має ознаки олігополістичного. Серед них: обмежена кількість підрядників, які можуть виконувати складні об'єкти; фактори репутації та неофіційних відносин; чутливе ставлення до ризиків безпеки. Додатковий учасника на такму тендері не дає гарантій, що з його приходом зросте ефективність. Це пояснюється обмеженістю кваліфікованих виконавців на ринку [20].

У статті «Аукціони проти переговорів у сфері державних закупівель: емпіричний аналіз» журналу *Journal of Law, Economics, & Organization* було проведено дослідження ринку дорожнього будівництва США. Дослідження показали, що вплив конкуренції на ціну є сильнішим і нелінійнішим у сегменті контрактів низької вартості. Водночас, для великих контрактів важливу роль мають специфіка проєкту і технічні бар'єри. Подібну логіку застосовують у дослідженні статті «Вимоги у сфері державних закупівель: результати дослідження на основі методу регресійної розривної моделі» журналу *Journal of Public Economics*. В ньому проводиться аналіз ринку публічних закупівель Італії та виявляють, що чинники ефективності відрізняються залежно від розміру тендеру. В контексті України аналітичний центр «Prozorro Insights» зазначає, що варіативність ефективності у сегменті малих тендерів більша, ніж у великих. Такі дослідження підтверджують доцільність роздільного аналізу.

Відповідно до статті 3 Закону України «Про публічні закупівлі» та постанови КМУ №1178 [21], для підприємств у сфері будівництва проводяться спрощені процедури при вартості до 5 млн грн і повні відкриті торги при більшій вартості. Таким чином, 5 млн грн — це вартість, яка закріплена нормативно. Вона розділяє тендери за вимогами до документації, термінами, зобов'язаннями. Нижньою межею першого сегменту обрано вартість 1 млн грн. Вона є мінімальним порогом застосування Закону для надпорогових замовників.

Тендери були розподілені між сегментами: нижній діапазон — 38,4%, середній — 37,9%, високий — 23,7% від загальної вибірки. Характеристики виділених сегментів наведено в табл. 1.3.

Економічна інтерпретація кожного сегмента відображає різні ринкові умови. Сегмент «Нижній ціновий діапазон» (Нижній) охоплює локальні ремонтні роботи. Вони замовляються районними адміністраціями, комунальними підприємствами, органами місцевого самоврядування. Цей ринок досить конкурентний. Середня кількість учасників у цьому сегменті становить 2,67 осіб, механізм редукціону спрацьовував ефективно. Сегмент «Середній ціновий діапазон» (Середній) — це капітальні ремонти, реконструкції типових об'єктів, таких як школи, лікарні, дорожні ділянки. Конкурентність цього ринку помірна, але з'являється вплив складності та кошторису. Сегмент «Верхній ціновий діапазон» (Верхній) — це стратегічні інфраструктурні проєкти, такі як мости, магістральні мережі, енергетичні об'єкти. На такому ринку кількість виконавців обмежена, ринкова влада окремих підрядників вища.

Таблиця 1.3 — Характеристика сегментів будівельних тендерів за масштабом закупівлі

Сегмент закупівель	Поріг очікуваної вартості	Кількість тендерів	Частка, %	Юридичний відповідник
Нижній ціновий діапазон	$\leq 1\,000\,000$ грн	3 869	38,4	Переважно «Відкриті торги з особливостями»
Середній ціновий діапазон	1 000 000 – 5 000 000 грн	3 823	37,9	Стандартні відкриті торги. Поріг застосування переважного огляду
Верхній ціновий діапазон	$> 5\,000\,000$ грн	2 390	23,7	Надпорогові тендери. Проекти відбудови стратегічних об'єктів

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Якщо будувати одну модель для всіх тендерів, коефіцієнти усереднюються між різними ринками. Через це модель пояснює дані гірше і приховує закономірності, які існують у кожному сегменті окремо. При перевірці об'єднана модель продемонструвала коефіцієнт детермінації $R^2 = 13,4\%$, при цьому окремі моделі для кожного сегмента $R^2 = 22,2 - 25,6\%$ для нижнього, $R^2 = 11,5 - 16,3\%$ для середнього, $R^2 = 7 - 15,9\%$ для верхнього. Спадання коефіцієнту детермінації від малих до великих тендерів підтверджує, що для великих проєктів класичні фактори (конкуренція, тривалість, масштаб) пояснюють невелику частину варіації ефективності. Значну роль відіграють інституційні, галузеві, регіональні чинники, але вони виходять за межі звітності системи «Prozorro».

Таким чином, сегментаційний підхід дозволяє розкрити відмінності між детермінантами ефективності на різних ринках будівельних закупівель. Практичним застосуванням цього підходу в подальшому дослідженні є побудова окремих економетричних моделей для сегментів Нижній, Середній, Верхній. Отже, враховуючи обраний цільовий критерій відносної фінансової економії та

сегментований підхід до моделювання, наступним етапом дослідження є перехід до емпіричного аналізу.

1.5 Огляд міжнародного досвіду моделювання ефективності публічних закупівель

Огляд міжнародних досліджень дозволяє виявити стандартні підходи та перевірені факторні моделі. Він допомагає поставити власне дослідження у ширший науковий контекст. Огляд побудовано за напрямками:

- 1) теоретичні засади
- 2) емпіричні дослідження
- 3) цифрові закупівельні платформи

Класичні теоретичні засади моделювання публічних закупівель закладені у теорії аукціонів. Найбільш відомою роботою у цьому напрямі є праця Р. Макафі та Дж. Макміллана «Auctions and Bidding», яка була опублікована у Journal of Economic Literature [22]. У ній автори систематизували основні формати аукціонів та умови, коли кожен з них оптимальний. Були розглянуті формати англійського та голландський аукціону, також аукціону першої та другої ціни. Для процедур публічних закупівель застосовується англійський зворотний аукціон. У цьому форматі учасники знижують ціну пропозиції послідовно. Перемагає той, хто запропонував найнижчу ціну. За такою логікою працює електронний редуціон у системі «Prozorro».

Теоретичним результатом класичної теорії аукціонів є теорема еквівалентності доходів. За нею усі стандартні формати аукціонів дають однаковий очікуваний дохід продавцю, при нейтральному ставленні учасників до ризику, симетричних оцінок, незалежності значень. На практиці такі умови виконуються рідких випадках, тому

реальний результат аукціону залежить від багатьох додаткових факторів. Наприклад, кількість учасників, рівень підготовленості, наявність змов, тривалість процедури.

Практичні аспекти дизайну аукціонів розглянуто у роботі П. Клемперера «What Really Matters in Auction Design» [23]. Автор затверджує, що теоретично оптимальні формати часто дають погані результати на практиці. Причиною цього явища є те, що теорія «абстрагується» від поведінкових і інституційних чинників. Важливими факторами Клемперер вважає стимулювання участі, запобігання змовам учасників, прозорість процедури. Цей висновок актуальний в контексті України. Ефективний формат аукціону у системі не гарантує економії. Економія залежить від супутніх процедурних факторів.

Сучасним емпіричним дослідженням є праця П. Баджарі, Р. Макміллана та С. Таделіса [24]. Автори дослідили чотири з половиною тисячі контрактів каліфорнійського департаменту транспорту на дорожньо-будівельні роботи. Вибірка була обрана за період з 1999 по 2005 рік. Висновком стало те, що ефект конкуренції неоднорідний залежно від типу контракту. Конкурентний аукціон має високу економію для стандартизованих контрактів, а для складних та унікальних контрактів аукціон поступається процедурам прямих переговорів.

Іншим прикладом дослідження є робота Д. Ковієлло і М. Маріньєлло на даних публічних закупівель Італії [25]. Вони застосували метод регресійного розриву для виявлення впливу публічності тендеру на конкуренцію. У італійському законодавстві існує поріг очікуваної вартості. Якщо його перевищити, зростають вимоги до публічного оприлюднення тендеру. Було доведено, що тендери з вищою публічністю залучають більше учасників, а також, що додаткова конкуренція знижує фінальну ціну контракту. У цифрах ефект склав від 1,5 до 2,5 відсоткового пункту економії на кожного додаткового учасника. У випадку з українськими дрібні тендери ефект більший, тому що вхідний рівень конкуренції нижче, порівняно з Італією.

Г. Льюїс, П. Баджарі у дослідженні «Procurement Contracting with Time Incentives» досліджували вплив тривалості процедури [26]. Вони виявили, що

скорочення термінів процедури має суперечливий вплив. З одного боку, менші терміни прискорюють реалізацію проєкту. З іншого боку, вони обмежують коло потенційних учасників. Оптимальна тривалість залежить від складності проєкту. Для простих робіт оптимальне значення складає від 14 до 21 дня. Складні будівельні об'єкти можуть займати від 30 до 45 днів.

Узагальнюючи ці дослідження, можна виділити три типічні фактори. Це кількість учасників, тривалість процедури, масштаб контракту. Усі фактори включено до моделей дослідження публічних закупівель під час відбудови України.

Україна не є першою країною, яка перевела публічні закупівлі у цифровий формат. Найбільш успішними світовими проєктами є KONEPS (Південна Корея), TED (Європа), Prozorro (Україна).

Система KONEPS (Korea ON-line E-Procurement System) запущена у 2002 році Службою публічних закупівель Південної Кореї [27]. Вона обробляє понад 80% державних закупівель країни. Введення KONEPS знизило операційні витрати на проведення тендерів на 8 мільярдів доларів щорічно. Тривалість процедури зменшилась з тижнів до годин. Система визнана Світовим банком як еталонна модель цифровізації державних закупівель.

Європейська система TED (Tenders Electronic Daily) працює як офіційний журнал тендерних оголошень Європейського Союзу [28]. На відміну від KONEPS чи «Prozorro», TED не самостійна платформа для проведення тендерів. Це реєстр, у якому держави ЄС публікують оголошення про тендери понадпорогового рівня. Поріг публікації для будівельного сектора складає 5,5 мільйона євро. Кожного року через систему проходить більше 800 тисяч оголошень. TED має доповнення у вигляді платформи e-Certis. Вона містить інформацію про національні сертифікати та документи, які потрібні для участі у тендерах різних країн ЄС. Це спрощує участь у тендерах і розширює коло потенційних учасників. Порівняння систем за основними параметрами зображено на табл. 1.4.

Таблиця 1.4 — Порівняльна характеристика провідних електронних систем публічних закупівель

<i>Параметр</i>	<i>KONEPS</i>	<i>TED</i>	<i>Prozorro</i>
Рік запуску	2002	1998	2016
Тип системи	Централізована платформа	Реєстр оголошень	Централізована платформа
Охоплення процедур	80% державних закупівель	Тендери понадпорогового рівня	Усі державні закупівлі від 50 тис.грн
Відкриті дані	Так	Так	Так
Електронний аукціон	Так	Не передбачено	Так (редукціон)
Кількість оголошень на рік	4 млн	800 тис.	4–5 млн

Джерело: складено автором за даними [3, 24, 30]

З табл. 1.4, «Prozorro» має риси обох міжнародних систем. За кількісними показниками «Prozorro» зіставна з KONEPS при значно меншій економіці країни, тобто рівень цифровізації закупівель високий на світовому фоні. «Prozorro» була запущена пізніше за інші системи, тому вона мала можливість врахувати минулий досвід.

Підсумовуючи, система «Prozorro» є унікальним джерелом мікроданих для кількісного аналізу ефективності публічних закупівель, оскільки воно забезпечує відкритий доступ до повної інформації про кожен тендер. Воєнний стан створив природний експеримент, коли різке падіння конкурентності у 2022 році, поступове відновлення у 2023–2024 роках дають можливість оцінити, як зміна ринкового середовища позначається на економії закупівель.

РОЗДІЛ 2

ЕКОНОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКУПІВЕЛЬ ДЛЯ ПОТРЕБ ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ

2.1 Опис інформаційної бази для моделювання

Емпіричною базою для проведення економетричного дослідження є мікроекономічні дані, які були отримані з аналітичного блоку електронної системи публічних закупівель «Prozorro». Для забезпечення однорідності масиву даних і уникнення гетерогенності предмета закупівлі, генеральну сукупність було обмежено однією категорією за Єдиним закупівельним словником. Це категорія CPV 45 під назвою «Будівельні роботи та поточний ремонт». Цей сегмент був вибраний через важливість для проведення інфраструктурних проєктів у межах відбудови України. Хронологічними межами дослідження обрано 2023–2024 роки. Після первинного очищення даних (видалення процедур зі статусом «скасовано»), лотів із пропусками, аномальних значень показника ефективності (за межами діапазону від -50% до 100%), репрезентативна вибірка склала 10082 завершених тендерів.

Для кожної процедури закупівлі завантажено набір змінних, які поділяються умовно на залежну змінну (показник ефективності) та фактори, які потенційно мають вплив (процедурні параметри тендеру). Описову статистику вибірки зображено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 — Описова статистика вибірки будівельних тендерів (вся вибірка)

<i>Показник</i>	<i>Середнє значення</i>	<i>Стандартне відхилення</i>	<i>Медіана</i>	<i>Мінімум</i>	<i>Максимум</i>
Ефективність (RSR)	0,169	0,164	0,123	-0,431	1,000
Очікувана вартість, грн	11 163 486	69 779 622	1 643 250	9 000	2 691 199 258
Кількість учасників	2,658	1,226	2	2	21
Тривалість лота, днів	34,036	17,488	32	11	331
Кількість дискваліфікацій	0,238	0,654	0	0	12
Кількість запитань	1,070	2,534	0	0	54
Кількість вимог	0,190	0,647	0	0	14

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

З даних табл. 2.1, вибірка значно неоднорідна за масштабом. Наприклад, очікувана вартість лотів складає від 9 тис. грн до 2,69 млрд грн, а значення медіани дорівнює 1,64 млн грн. Стандартне відхилення розміром 69,8 млн грн перевищує середнє значення у шість разів. Це індикатор правосторонньої асиметрії розподілу. Розкид такого вигляду створює гетероскедастичність. Це нерівномірність дисперсії помилок, яка призводить до помилкових статистичних висновків (для лінійних регресійних моделей). Окрім цього, існує більш фундаментальна проблема. Вона складається в тому, що тендери різних масштабів функціонують на різних за принципом ринках, тобто на таких, де структура конкуренції та механізми ціноутворення відрізняються. Об'єднання спостережень в єдину регресійну модель призведе до того, що коефіцієнти усереднюються і втрачається пояснювальна здатність моделі.

Застосовано сегментацію вибірки за критерієм очікуваної вартості. Порогами сегментації є 1 і 5 млн грн. Описова статистика у розрізі трьох сегментів підтверджує неоднорідність їх структури у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 — Порівняльна описова статистика показників за сегментами

<i>Показник</i>	<i>Нижній</i>	<i>Середній</i>	<i>Верхній</i>
Кількість тендерів	3 869	3 823	2 390
Середня ефективність	0,209	0,164	0,108
Стандартне відхилення	0,177	0,155	0,135
Середня очікувана вартість, грн	477 826	2 478 530	38 974 562
Медіанна очікувана вартість, грн	430 008	2 350 000	11 200 000
Середня кількість учасників	2,67	2,71	2,57
Середня тривалість лота, днів	24,2	34,8	50,1
Середня кількість запитань	0,77	1,06	1,57
Середня кількість вимог	0,15	0,18	0,27

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Аналіз табл. 2.2 відображає тренд до зниження рівня ефективності із зростанням розміру тендеру (від 20,9% у нижньому сегменті до 10,8% у верхньому). Таким чином, підтверджується гіпотеза, що великі тендери залучають олігополістичне коло підрядників. В свою чергу, генеральні підрядники демпінгують ціни у значно меншій мірі. Водночас, коли зростає масштаб, збільшується середня тривалість процедури (від 24 до 50 днів). Аналогічно відбувається із запитаннями (від 0,77 до 1,57) і вимогами (від 0,15 до 0,27).

На етапі підготовки даних для аналізу введено три додаткові змінні. По-перше, введено змінну $\ln(x_2)$ для логарифмування розподілу очікуваної вартості. Вона робить вплив масштабу більш лінійним і еластичним за змістом. Коефіцієнт при $\ln(x_2)$ — це приріст ефективності на кожний відсоток зміни вартості. По-друге, квадратичну

форму кількості учасників x_1^2 для того, щоб перевірити гіпотези про спадну граничну віддачу від конкуренції. По-третє, інтерактивну змінну $x_1 \cdot \ln(x_2)$ для оцінки взаємодії конкуренції та масштабу. Вона показує, наскільки вплив кожного додаткового учасника змінюється залежно від бюджету тендеру. Змінні, які увійшли до моделі наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 — Перелік змінних економетричної моделі та їхня інтерпретація

Позначення	Назва змінної	Тип	Економічна інтерпретація
y	Ефективність (RSR)	Залежна	Відносна фінансова економія, у частках
x_1	Кількість учасників	Незалежна	Рівень конкуренції на тендері
x_1^2	Учасники у квадраті	Похідна	Фіксація спадної граничної віддачі
$\ln(x_2)$	Логарифм вартості	Похідна	Ефект масштабу закупівлі
$x_1 \cdot \ln(x_2)$	Взаємодія	Похідна	Модераторний ефект масштабу на конкуренцію
x_3	Тривалість лота	Незалежна	Тривалість періоду подання пропозицій
x_4	Дискваліфікації	Незалежна	Кількість дискваліфікованих учасників
x_5	Запитання	Незалежна	Кількість запитань від учасників
x_6	Вимоги	Незалежна	Кількість вимог щодо усунення порушень

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Окремо, з масиву даних попередньо вилучено неконкурентні тендери (з одним учасником), оскільки тоді механізм електронного редукування не запускається і фінансова економія у більшості випадків нульова. Включення цих спостережень до моделі може привести до зміщення оцінок коефіцієнтів. Таким чином, фінальна

вибірка складається з тендерів, де була потенційна конкуренція (від 2 до 21 учасника). Розподіл показника ефективності асиметричний. Проте, за графіком розподілу (рис. 2.4), більшість спостережень мають нульову економію. З економічної точки зору, це може пояснюватись змовами учасників і пасивною поведінкою бізнесу. Наприклад, це відбувається, коли учасники подають первинні пропозиції на рівні очікуваної вартості, потім відмовляються робити кроки на пониження під час аукціону. Гістограма розподілу також вказує на існування висококонкурентних торгів. На них економія складає 20–40%. У вибірці також є специфічні екстремуми. Наприклад, декілька від'ємних значень економії. Це відбувається, коли фінальна вартість договору вище початкової очікуваної вартості через укладання додаткових угод чи специфічне формування ціни. Максимальні значення (ті, які наближаються до 100%) — статистичні викиди. Проте, так як обсяг вибірки великий, вони не здатні суттєво викривити результати регресійного оцінювання.

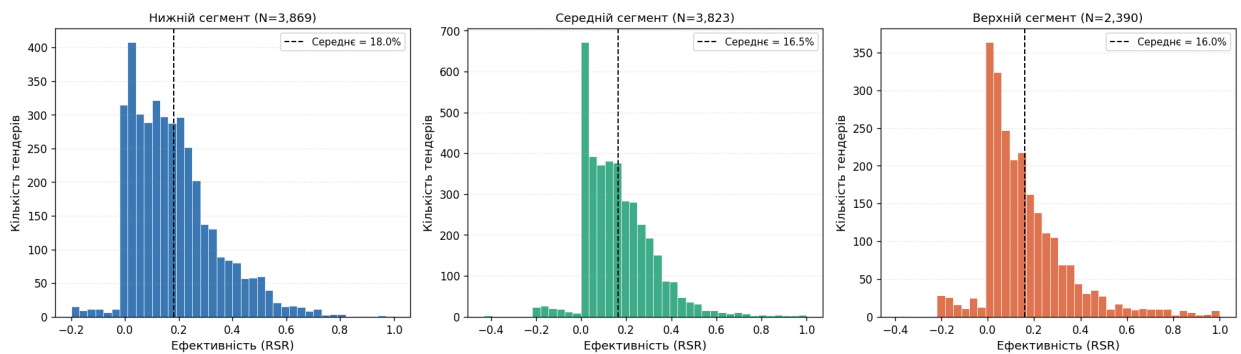


Рисунок 2.1 — Гістограми розподілу показника відносної фінансової економії по сегментах

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Для попереднього аналізу взаємозв'язків між змінними був застосований кореляційний аналіз. Парний коефіцієнт кореляції Пірсона розраховується за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_i (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (2.1)$$

де x_i , y_i — спостереження змінних; $\bar{x}$, $\bar{y}$ — середні значення. Коефіцієнт r належить $[-1; +1]$.

Матриці парних кореляцій Пірсона для кожного сегмента наведено на рис. 2.5.

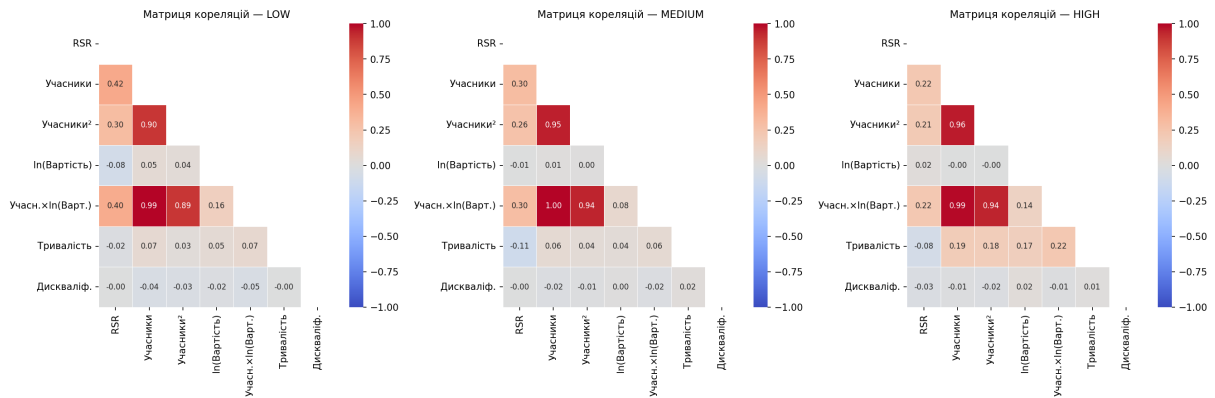


Рисунок 2.2 — Матриця парних кореляцій Пірсона по сегментах

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

За рис. 2.2, найсильніше показник ефективності (RSR) корелює з показником кількості учасників x_1 . Коефіцієнт кореляції знаходиться у діапазоні від 0,22 у верхньому сегменті до 0,42 у нижньому сегменті. Між x_1 та похідними змінними x_1^2 і $x_1 \cdot \ln(x_2)$ існує висока кореляція (у діапазоні від 0,90 до 0,99). Це властивість поліноміальних специфікацій. Вона нейтралізується робастними стандартними похибками НС3.

Перед побудовою регресійної моделі проведено попередній аналіз залежності ефективності від кількості учасників у розрізі кожного сегмента (рис. 2.3).

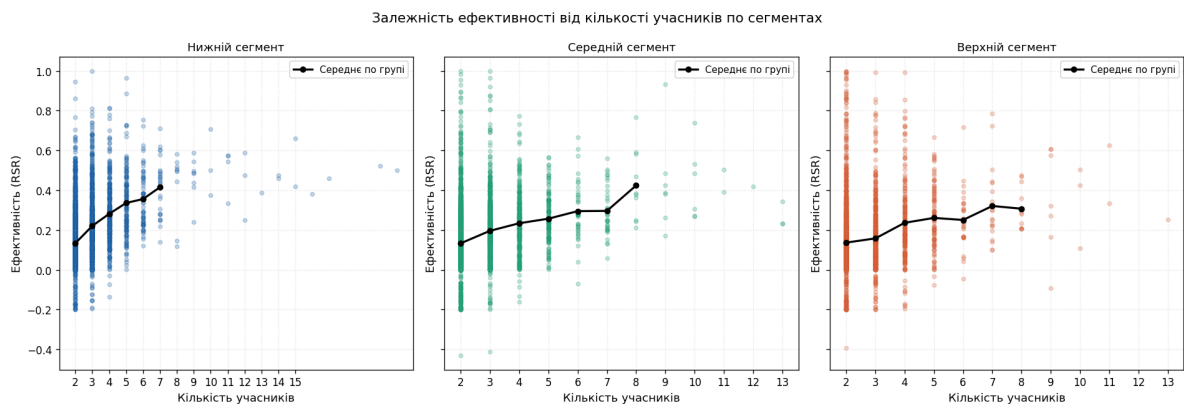


Рисунок 2.3 — Залежність ефективності від кількості учасників по сегментах

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Графік підтверджує нелінійну залежність. Перші 2–4 учасники створюють найбільший приріст ефективності. Вплив кожного наступного учасника слабшає

поступово. Закономірність стійка в усіх сегментах, але крутизна відрізняється. Наприклад, у нижньому сегменті крива значно зростає (вища цінова чутливість тендерів нижнього сегменту до конкуренції).

2.2 Побудова багатфакторної економетричної моделі ефективності закупівель

Багатфакторну регресійну модель побудована за такою послідовністю: 1) ідентифікація незалежних змінних і залежної; 2) обґрунтування специфікації моделі; 3) оцінка параметрів моделі за допомогою методу найменших квадратів; 4) перевірка отриманих коефіцієнтів на статистичну значущість; 5) формування фінальних рівнянь моделі.

Моделі залежності ефективності закупівель від процедурних факторів за загальною теоретичною формулою має вигляд:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + a_3 \ln(x_2) + a_4(x_1 \ln(x_2)) + a_5x_3 + a_6x_4 + a_7x_5 + a_8x_6 + u, \quad (2.2)$$

де y — залежна змінна;

a_0 — константа;

$a_1 \dots a_8$ — коефіцієнти регресії;

$x_1 \dots x_6$ — незалежні змінні;

u — випадкова помилка моделі.

Оцінка параметрів моделі (2.1) здійснювалася методом найменших квадратів (МНК) [8]. Сутність методу — мінімізація суми квадратів відхилень фактичних значень залежної змінної від прогнозних значень. Цільова функція цього методу має вигляд (2.2):

$$S(a) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij})^2 \rightarrow \min, \quad (2.3)$$

де $S(a)$ — сума квадратів залишків;

n — кількість спостережень;

k — кількість пояснювальних змінних;

y_i — фактичне значення залежної змінної i -го спостереження;

$\hat{y}_i$ — прогнозне значення залежної змінної.

За умовою першого порядку ($\partial S / \partial a = 0$), вектор оцінок коефіцієнтів обчислюється за формулою [29]:

$$\hat{a} = (X^T X)^{-1} X^T y, \quad (2.4)$$

де $\hat{a}$ — вектор оцінок коефіцієнтів регресії;

X — матриця спостережень незалежних змінних;

y — вектор спостережень залежної змінної.

Доцільність використання нелінійних компонентів перевіряється за допомогою тесту специфікації Рамсея (Regression Equation Specification Error Test). Тест полягає у додаванні квадратів модельних значень $\hat{y}^2$ до базової лінійної регресії, а також у перевірці статистичної значущості нового коефіцієнта. Тестова статистика розраховується за формулою:

$$F_{RESET} = \frac{\left(\frac{R_{aug}^2 - R_{base}^2}{q} \right)}{\left(\frac{1 - R_{aug}^2}{n - k - q} \right)}, \quad (2.5)$$

де R_{base}^2 — коефіцієнт детермінації лінійної моделі;

R_{aug}^2 — коефіцієнт детермінації розширеної моделі з додатковими ступенями $\hat{y}^2$;

q — кількість доданих ступенів;

n — обсяг;

k — кількість пояснювальних змінних.

Тестування лінійної специфікації моделі: у нижньому-сегменті $F_{RESET} = 18,4$ при $p\text{-value} = 0,0003$, у верхньому сегменті $F_{RESET} = 7,2$ при $p\text{-value} = 0,048$. В обох випадках $p\text{-value} < 0,05$, тому нульова гіпотеза відхиляється. Це є підставою включення нелінійних компонентів. Після додавання змінних повторне тестування підтвердило правильність специфікації для усіх сегментів.

Для кожного з сегментів проведено тестування із застосуванням стандартних похибок. Робастна корекція стандартних похибок необхідна, тому що була виявлена

гетероскедастичність залишків. Результати оцінювання параметрів для нижнього сегмента наведено у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 — Результати оцінювання параметрів моделі (нижній сегмент)

<i>Змінна</i>	<i>Коефіцієнт</i>	<i>Робастне СТВ</i>	<i>t- статистика</i>	<i>p-value</i>	<i>Значущість</i>
Константа (a_0)	+0,061	0,124	0,498	0,619	—
Учасники (a_1)	+0,181	0,047	3,886	0,000	***
Квадрат учасників (a_2)	−0,0036	0,000	−6,484	<0,001	***
ln(Вартість) (a_3)	−0,006	0,009	−0,637	0,524	—
Взаємодія (a_4)	−0,0069	0,003	−2,001	0,045	**
Тривалість (a_5)	−0,000	0,000	−3,937	0,000	***
Дискваліфікації (a_6)	+0,000	0,000	1,253	0,211	—
Запитання (a_7)	+0,005	0,002	2,945	0,003	***
Вимоги (a_8)	−0,000	0,005	−0,127	0,899	—

Позначення: *** — $p < 0,01$; ** — $p < 0,05$; * — $p < 0,10$; «—» — не значущий

За критерієм Стюдента здійснюється перевірка на значущість оцінок кожного параметра (при рівні значущості $\alpha = 0,05$). Нульова гіпотеза має вигляд $H_0: a_j = 0$ (j -й фактор не має статистично значущого впливу на залежну змінну), альтернативна $H_1: a_j \neq 0$. Формула t -статистики кожного коефіцієнта:

$$t_j = \frac{\hat{a}_j}{SE(\hat{a}_j)}, \quad (2.6)$$

де $\hat{a}_j$ — оцінка j -го коефіцієнта регресії;

$SE(\hat{a}_j)$ — робастна помилка оцінки.

Гіпотеза приймається за p -value. Якщо $p < 0,05$, нульова гіпотеза відхиляється, коефіцієнт є значущим. Результати для нижнього сегмента:

$P_{H_0}(a_1) < 0,001 < 0,05$ — приймається $H_1: a_1 \neq 0$ (вплив значущий);

$P_{H_0}(a_2) < 0,001 < 0,05$ — приймається $H_1: a_2 \neq 0$ (значущий);

$P_{H_0}(a_3) = 0,524 > 0,05$ — приймається $H_0: a_3 = 0$ (незначущий);

$P_{H_0}(a_4) = 0,045 < 0,05$ – приймається H_1 : $a_4 \neq 0$ (значущий);

$P_{H_0}(a_5) < 0,001 < 0,05$ – приймається H_1 : $a_5 \neq 0$ (значущий);

$P_{H_0}(a_6) = 0,211 > 0,05$ – приймається H_0 : $a_6 = 0$ (незначущий);

$P_{H_0}(a_7) = 0,003 < 0,05$ – приймається H_1 : $a_7 \neq 0$ (значущий);

$P_{H_0}(a_8) = 0,899 > 0,05$ – приймається H_0 : $a_8 = 0$ (незначущий).

Аналогічна процедура застосована до середнього сегмента. Результати представлено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 — Результати оцінювання параметрів моделі (середній сегмент)

Змінна	Коефіцієнт	Робастне СТВ	t- статистика	p-value	Значущість
Константа (a_0)	-0,248	0,209	-1,192	0,233	—
Учасники (a_1)	+0,199	0,075	2,641	0,008	***
Квадрат учасників (a_2)	-0,0037	0,000	-5,610	<0,001	***
ln(Вартість) (a_3)	+0,020	0,014	1,416	0,157	—
Взаємодія (a_4)	-0,009	0,005	-1,701	0,089	*
Тривалість (a_5)	-0,001	0,000	-7,968	<0,001	***
Дискваліфікації (a_6)	+0,000	0,000	0,480	0,631	—
Запитання (a_7)	+0,004	0,001	3,344	0,000	***
Вимоги (a_8)	-0,007	0,003	-2,086	0,037	**

Джерело: розроблено автором на основі даних [20] Позначення: *** — $p < 0,01$; ** — $p < 0,05$; * — $p < 0,10$; «—» — не значущий

У середньому сегменті додатково з'явилася значущість змінної x_6 (кількість вимог) розміром 5%. Змінна ($x_1 \cdot \ln(x_2)$) має граничну значущість ($p = 0,0889$). Структура значущих факторів у середньому сегменті близька до нижнього сегменту.

У верхньому сегменті результати помітно відрізняються. Їх оцінювання наведено у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 — Результати оцінювання параметрів моделі для верхнього сегмента

<i>Змінна</i>	<i>Коефіцієнт</i>	<i>Робастне СТВ</i>	<i>t- статистика</i>	<i>p-value</i>	<i>Значущість</i>
Константа (a_0)	-0,234	0,155	-1,503	0,133	—
Учасники (a_1)	+0,121	0,054	2,240	0,025	**
Квадрат учасників (a_2)	-0,0019	0,001	-1,699	0,089	*
$\ln(\text{Вартість})$ (a_3)	+0,018	0,009	1,978	0,048	**
Взаємодія (a_4)	-0,003	0,003	-1,215	0,224	—
Тривалість (a_5)	-0,001	0,000	-6,138	<0,001	***
Дискваліфікації (a_6)	-0,000	0,000	-1,285	0,199	—
Запитання (a_7)	-0,001	0,001	-1,313	0,189	—
Вимоги (a_8)	-0,000	0,004	-0,149	0,882	—

Джерело: розроблено автором на основі даних [20] Позначення: *** — $p < 0,01$; ** — $p < 0,05$; * — $p < 0,10$; «—» — не значущий

У верхньому сегменті значущими залишаються x_1 , x_1^2 (граничний рівень), $\ln(x_2)$ та x_3 . Інтерактивна змінна ($x_1 \cdot \ln(x_2)$), змінна дискваліфікацій, змінна запитань і змінна вимог статистично незначущі. Кофіцієнт при x_5 змінив знак з позитивного у (у нижньому, середньому сегменті) на негативний (у верхньому сегменті).

Структура значущих факторів по сегментах наведено у табл. 2.8.

Таблиця 2.7 — Порівняння статистичної значущості факторів за сегментами

<i>Фактор</i>	<i>Нижній</i>	<i>Середній</i>	<i>Верхній</i>	<i>Висновок</i>
Учасники (x_1)	***	***	**	Значущий у всіх сегментах
Квадрат учасників (x_1^2)	***	***	*	Значущий у всіх сегментах
$\ln(\text{Вартість})$ (x_2)	—	—	**	Значущий у верхньому
Взаємодія ($x_1 \cdot \ln(x_2)$)	**	*	—	Зникає у великих тендерах
Тривалість (x_3)	***	***	***	Значущий у всіх сегментах

Продовження таблиці 2.7

Фактор	Нижній	Середній	Верхній	Висновок
Дискваліфікації (x_4)	—	—	—	Не значущий
Запитання (x_5)	***	***	—	Зникає у великих тендерах
Вимоги (x_6)	—	**	—	Значущий у середньому

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]. Позначення: *** — $p < 0,01$; ** — $p < 0,05$; * — $p < 0,10$; «—» — не значущий

Різна структура значущих факторів між сегментами підтверджує різну природу ринків будівельних підрядів з залежності від масштабу. У верхньому сегменті зникла значущість факторів конфліктності (x_4 , x_5). Пояснюється тим, що ефективність великих тендерів формується макроекономічними чинниками, а не процедурними параметрами окремих закупівель.

З кожного сегмента вилучено незначущі змінні з остаточних специфікацій, щоб уникнути перенавчання моделей. Фінальні економетричні рівняння мають вигляд:

для нижнього сегмента:

$$\hat{y}_{\text{нижній}} = 0,0617 + 0,1819x_1 - 0,00366x_1^2 - 0,00695(x_1 \ln(x_2)) - 0,00074x_3 + 0,00489x_5, \quad (2.7)$$

для середнього сегмента:

$$\hat{y}_{\text{середній}} = -0,2487 + 0,1994x_1 - 0,00366x_1^2 - 0,00131x_3 + 0,00414x_5 - 0,00693x_6, \quad (2.8)$$

для верхнього сегмента:

$$\hat{y}_{\text{верхній}} = -0,2341 + 0,1218x_1 - 0,00198x_1^2 + 0,0185 \ln(x_2) - 0,00106x_3, \quad (2.9)$$

Отримані рівняння використані для подальшої перевірки на адекватність, інтерпретації коефіцієнтів, сценарного прогнозування ефективності закупівель.

2.3 Оцінка точності економетричної моделі

Оцінку якості побудованих багатофакторних моделей здійснено на основі базових статистичних критеріїв адекватності. Серед них коефіцієнт детермінації, скоригований коефіцієнт детермінації, F-критерій Фішера. Коефіцієнт детермінації R^2 характеризує частку дисперсії залежної змінної, яка пояснюється моделлю. Вона розраховується за формулою (2.9):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y})^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{RSS}{TSS}, \quad (2.10)$$

де RSS — сума квадратів залишків моделі;

TSS — загальна сума квадратів відхилень залежної змінної;

$\bar{y}$ — середнє значення залежної змінної.

R^2 зростає, якщо додавати нові змінні до моделі. Через це, використовується скоригований коефіцієнт детермінації, щоб правильно порівняти моделі з різною кількістю регресорів. Він враховує штраф за кожну додаткову змінну:

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{(1-R^2)(n-1)}{n-k-1}, \quad (2.11)$$

де n — обсяг вибірки;

k — кількість пояснювальних змінних.

Статистична значущість моделі перевірено за F-критерієм Фішера. Він переіряє нульову гіпотезу $H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_k = 0$ (якщо всі коефіцієнти регресії дорівнюють нулю; модель незначуща). Тестова статистика рахується за формулою:

$$F = \frac{\frac{R^2}{k}}{(1-R^2)/(n-k-1)}, \quad (2.12)$$

Результати оцінки якості моделей зображено на табл. 2.8.

Таблиця 2.8 — Зведена оцінка якості множинних регресій по сегментах

<i>Показник якості</i>	<i>Нижній</i>	<i>Середній</i>	<i>Верхній</i>
Обсяг вибірки	3 869	3 823	2 390
R ²	0,222	0,115	0,070
Скоригований R ²	0,220	0,113	0,067
F-статистика	129,78	62,64	24,54
p-value для F-критерію	<0,001	<0,001	<0,001
Інформаційний критерій Акайке	-4 248,5	-3 808,8	-1 436,0
Байєсівський інформаційний критерій	-4 192,1	-3 752,6	-1 383,9

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Аналіз табл. 2.8 відображає помірне спадання коефіцієнта детермінації при переході від малих тендерів до великих. Для нижнього сегменту 22,2%, для середнього сегмента 11,5%, для верхнього сегмента 7,0%. Процедурні фактори пояснюють більшу частку варіації ефективності у малих тендерах і невелику частку у великих тендерах. У верхньому сегменті домінують неспостережувані фактори. Такими факторами можуть бути інститутційні або регіональні чинники. Вони виходять за межі звітності системи «Prozorro». Моделі мають різний рівень пояснювальності, але F-статистика для всіх моделей має високу значущість. Це є підтвердженням їх адекватності. Кожна модель краще пояснює варіацію ефективності, ніж проста середня.

Перевірку на мультиколінеарність незалежних змінних здійснено за допомогою розрахунку фактора інфляції дисперсії (Variance Inflation Factor). Він вимірює, у скільки разів збільшується дисперсія оцінки j-го коефіцієнта через корельованість з іншими регресорами. VIF рахується за формулою:

$$VIF_j = \frac{1}{(1-R_j^2)}, \quad (2.13)$$

де R_j^2 — коефіцієнт детермінації допоміжної регресії j -ї пояснювальної змінної на всі інші пояснювальні змінні.

Інтерпретація значень: якщо $VIF < 5$, мультиколінеарність відсутня; якщо $5 \leq VIF < 10$, помірна мультиколінеарність; якщо $VIF \geq 10$, висока мультиколінеарність, яка потребує виправлення. VIF розраховано для нелінійних не похідних змінних, тому що колінеарність між x_1 , x_1^2 , $(x_1 \cdot \ln(x_2))$ очікувана. Вона не свідчить про спотворення оцінок. Результати наведено у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 — Розрахунок VIF для базових пояснювальних змінних по сегментах

Змінна	Нижній	Середній	Верхній	Інтерпретація
Учасники (x_1)	5,40	6,53	6,26	Помірна
$\ln(\text{Вартість})$ (x_2)	9,40	10,31	8,38	Помірна–висока
Тривалість (x_3)	5,77	5,57	4,90	Помірна
Дискваліфікації (x_4)	1,12	1,11	1,13	Відсутня
Запитання (x_5)	1,32	1,33	1,29	Відсутня
Вимоги (x_6)	1,15	1,13	1,12	Відсутня

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Як видно з табл. 2.9, мультиколінеарність відсутня для факторів x_4 , x_5 , x_6 . VIF близький до 1. Мультиколінеарність помірна між $\ln(x_2)$ та x_1 , x_3 , через те, що великі тендери більш тривалі та залучають більше учасників. Однак значення не перевищують порогу (окрім 10,31 у середньому сегменті). Робастні стандартні похибки повністю прибирають вплив колінеарності на статистичні висновки.

Гетероскедастичність — це несталість дисперсії випадкової помилки залежно від значень регресорів. Вона не призводить до зміщення оцінок методу найменших квадратів, але вона робить їх неефективними, також спричиняє неправильні висновки щодо значущості. Для діагностики застосовано тести Бройша–Пагана та Уайта. Тест

Бройша–Пагана базується на регресії квадратів залишків на регресори. Тестова статистика рахується за формулою:

$$LM = nR_{aux}^2, \quad (2.14)$$

де R_{aux}^2 — коефіцієнт детермінації допоміжної регресії залишків ε^2 на пояснювальні змінні моделі;

n — обсяг.

Статистика LM має асимптотичний розподіл χ^2 з k ступенями свободи. Нульова гіпотеза: H_0 : дисперсія залишків є сталою (гомоскедастичність). Якщо $p\text{-value} < 0,05$, нульова гіпотеза відхиляється. Тест Уайта — загальний аналог тесту Бройша–Пагана. Він враховує нелінійні форми гетероскедастичності (додає до допоміжної регресії квадрати та парні добутки регресорів).

Для перевірки нормальності розподілу залишків застосовано тест Жарка–Бера (Jarque–Bera). Його статистика ґрунтується на третьому та четвертому центральних моментах (асиметрія та ексцес). Він обчислюється за формулою:

$$JB = \frac{n}{6} \left(s^2 + \frac{1}{4} (K - 3)^2 \right), \quad (2.15)$$

де S — коефіцієнт асиметрії залишків;

K — коефіцієнт ексцесу залишків;

n — обсяг.

Статистика JB має асимптотичний розподіл χ^2 з 2 ступенями свободи. Нульова гіпотеза тесту H_0 : залишки розподілені нормально. Перевірка автокореляції залишків першого порядку здійснюється за допомогою статистики Дарбіна–Уотсона:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})}{\sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2}, \quad (2.16)$$

де ε_t — залишок моделі для t -го спостереження.

Статистика DW лежить у діапазоні від 0 до 4. Значення 2 свідчить про відсутність автокореляції, значення 0 свідчить про сильну позитивну автокореляцію, значення 4 свідчить про сильну автокореляцію. Зведені результати діагностичних тестів наведено у табл. 2.10.

Таблиця 2.10 — Зведені результати діагностичних тестів моделей за сегментами

<i>Назва тесту</i>	<i>Нижній</i>	<i>Середній</i>	<i>Верхній</i>	<i>Інтерпретація</i>
Тест Бройша–Пагана	<0,001	0,018	0,087	Гетероскедастичність в нижньому та середньому
Тест Уайта	<0,001	0,490	0,573	Підтверджено в нижньому
Тест Жарка–Бера	<0,001	<0,001	<0,001	Залишки не нормальні
Тест Дарбіна–Уотсона	1,705	1,920	1,804	Автокореляції немає
Тест RESET	<0,001*	0,522	0,048*	Специфікація нормальна після нелінійності

Гетероскедастичність підтверджена тестом Бройша-Пагана для нижнього та середнього сегменту. У верхньому сегменті результати не дають відхилити нульову гіпотезу про гомоскедастичність. У всіх трьох моделях застосовано робастні стандартні похибки, щоб зберегти однаковий методологічний підхід. Вони дають коректні оцінки стандартних похибок навіть за наявності гетероскедастичності.

Тест Жарка–Бера демонструє статистично значущу відмінність розподілу залишків від нормального, через екстремальні значення RSR (тендери з нульовою, стовідсотковою економією). Центральна гранична теорема гарантує асимптотичну нормальність оцінок коефіцієнтів регресії незалежно від розподілу залишків для вибірок більше трьох тисяч спостережень. Це дає уникнути потенційних проблем ненормальності.

Тест Дарбіна–Уотсона дає значення в діапазоні від 1,70 до 1,92, тобто в діапазоні відсутності автокореляції залишків першого порядку. Стандартні критичні межі $d^L = 1,65$, $d^U = 1,69$ при $n > 1000$). Це очікуваний результатом, тому що вибірка складається з крос-секційних даних, а не часовий ряд.

Для перевірки моделей на стійкість до впливу статистичних викидів використовується відстань Кука. Вона оцінює, наскільки прогнозні значення моделі зміняться при вилученні i -го спостереження. Відстань Кука для i -го спостереження рахується за формулою:

$$D_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{y}_j - \hat{y}_j^{(i)})^2}{(k+1)\hat{\sigma}^2}, \quad (2.17)$$

де $\hat{y}_j$ — прогноз залежної змінної повної моделі для j -го спостереження;

$\hat{y}_j^{(i)}$ — прогноз моделі, яка побудована без i -го спостереження;

k — кількість пояснювальних змінних;

$\hat{\sigma}^2$ — оцінка дисперсії випадкової помилки моделі.

$D_i = 1$ — стандартне порогове значення. Якщо для жодного спостереження значення D_i менше або дорівнює 1, модель стійка до окремих викидів. Результати розрахунку максимальних значень відстані Кука наведено у табл. 2.11.

Таблиця 2.11 — Аналіз впливу аномальних спостережень за сегментами

Показник	Нижній	Середній	Верхній	Висновок
Максимальна відстань Кука (D_i)	0,341	0,065	0,035	Критичних викидів немає ($D < 1$)
Кількість спостережень з D_i > 4/n	23	18	12	<0,7% вибірки
Поріг 4/n	0,001	0,001	0,0016	—

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

З табл. 2.11, максимальна відстань Кука не наближається до значення $D=1$. Найвище значення в нижньому сегменті ($D_i=0,341$). Це пов'язано з тим, що вибірка має тендери з нетиповою комбінацією (низька вартості, висока кількість учасників). Стрес-тест (поетапне вилучення 5 самих впливових спостережень) показав стабільність економетричних оцінок. Зміна ключових коефіцієнтів впливу менше 1%. Виявлені закономірності мають системний ринковий характер і вони не є наслідком математичного спотворення.

Загалом за результатами комплексної діагностики моделі визнаються адекватними і статистично значущими. F-критерій підтверджує значущість моделей, мультиколінеарність відсутня, гетероскедастичність прибрана робастними оцінками, автокореляція залишків відсутня, критичних викидів немає.

Доцільно провести також перевірку проведеної сегментації. Економічне пояснення сегментування підкріплюється статистичним тестом. Для цього застосовано тест Чоу [30]. Він перевіряє, чи відрізняються коефіцієнти регресії між групами спостережень. Якщо коефіцієнти однакові, сегментація не потрібна, і достатньо однієї моделі. Якщо коефіцієнти відрізняються, сегментація виправдана.

Нульова гіпотеза тесту H_0 : коефіцієнти регресії однакові для всіх сегментів. Альтернативна гіпотеза H_1 : коефіцієнти відрізняються якнайменш між двома сегментами. Тестова статистика розраховується порівнянням суми квадратів залишків об'єднаної та сегментованих моделей за формулою:

$$F_{\text{Чоу}} = \frac{\frac{RSS_{\text{об}} - RSS_{\text{сег}}}{(g-1)k}}{\frac{RSS_{\text{сег}}}{n-gk}}, \quad (2.18)$$

де $RSS_{\text{об}}$ — сума квадратів залишків об'єднаної моделі для всієї вибірки;

$RSS_{\text{сег}}$ — сумарна сума квадратів залишків сегментованих моделей;

g — кількість сегментів;

k — кількість параметрів моделі, враховуючи константу;

n — загальний обсяг вибірки.

Статистика $F_{\text{Чоу}}$ має розподіл Фішера. Якщо розрахункове значення перевищує критичне, нульова гіпотеза відхиляється. Це означає, що коефіцієнти між сегментами відрізняються значущо. Вихідні дані для розрахунку і результати тесту зображено на табл. 2.12.

Таблиця 2.12 — Результати тесту Чоу на доцільність сегментації вибірки

<i>Показник</i>	<i>Значення</i>
Сума квадратів залишків об'єднаної моделі ($RSS_{об}$)	235,8
Сума квадратів залишків сегментованих моделей ($RSS_{сег}$)	233,6
Кількість сегментів (g)	3
Кількість параметрів моделі (k)	9
Загальний обсяг вибірки (n)	10 082
Ступені свободи чисельника (df_1)	18
Ступені свободи знаменника (df_2)	10 055
Розрахункова F-статистика Чоу	5,23
Критичне значення F ($\alpha = 0,05$)	1,605
p-значення	< 0,001

Джерело: розраховано автором на основі даних [20]

За табл. 2.12, розрахункова F-статистика Чоу дорівнює 5,23. Це значення перевищує критичне значення 1,605 у понад три рази. Р-значення менше ніж 0,001. Отже, нульова гіпотеза про однаковість коефіцієнтів відхиляється. Коефіцієнти регресії між сегментами відрізняються статистично значущо. Методологічне значення тесту Чоу полягає в тому, що він доводить, що поділ вибірки на сегменти статистично обґрунтований, а не довільний.

Перевірка якості побудованих моделей здійснюється за допомогою аналізу робастності. Робастність означає стійкість результатів моделі до зміни її специфікації. Якщо при незначній зміні набору змінних висновки моделі кардинально змінюються, така модель ненадійна. Для перевірки робастності побудовано альтернативну, скорочену специфікацію кожної моделі. Скорочена специфікація містить статистично значущі змінні сегментів. Незначущі змінні з неї вилучено. Результати порівняння специфікацій зображено на табл. 2.13.

Таблиця 2.13 — Порівняння повної та скороченої специфікацій моделей

Сегмент	Специфікація	R^2	Скоригований R^2	AIC
Нижній	Повна	0,221	0,220	−4248,5
Нижній	Скорочена	0,221	0,220	−4252,5
Середній	Повна	0,115	0,113	−3808,8
Середній	Скорочена	0,114	0,113	−3810,7
Верхній	Повна	0,069	0,066	−1436,0
Верхній	Скорочена	0,068	0,066	−1439,2

Джерело: розраховано автором на основі даних [20]

Аналіз табл. 2.13 підтверджує робастність побудованих моделей. По-перше, коефіцієнт детермінації при переході до скороченої специфікації не змінюється. Він змінюється менше, ніж на 0,002 для всіх сегментів, тобто вилучені змінні не були пояснювальними. По-друге, скоригований коефіцієнт детермінації для скороченої моделі незначно вищий, ніж для повної моделі. Скоригований показник враховує штраф за кожен зайву змінну. Він зростає, тому вилучення незначущих змінних покращило якість моделі. По-третє, критерій Акайке для скороченої моделі нижчий у всіх сегментах. Менше значення свідчить про кращу модель.

Для перевірки стійкості підсумкового прогнозу розраховано прогнозну ефективність за повною та скороченою специфікаціями для типового тендеру з трьома учасниками. Різниця між двома прогнозами склала від 0 до 0,46 відсоткового пункту. Незначна різниця доводить, що обидві специфікації дають однаковий результат. Побудовані моделі робастні.

Загалом за результатами комплексної діагностики моделі визнаються адекватними і статистично значущими. F-критерій підтверджує значущість моделей, мультиколінеарність відсутня, гетероскедастичність прибрана робастними оцінками, автокореляція залишків відсутня, критичних викидів немає.

2.4 Визначення головних чинників впливу на рівень ефективності закупівель

Наступним етапом після підтвердження адекватності побудованих моделей є економічна інтерпретація коефіцієнтів регресії. Це стосується кількісного вимірювання сили і напрямку впливу факторів на кінцеву економію бюджетних коштів.

Силу впливу та статистичну значущість кожного з факторів візуалізовано у вигляді графіку коефіцієнтів з 95% довірчими інтервалами (рис. 2.4).

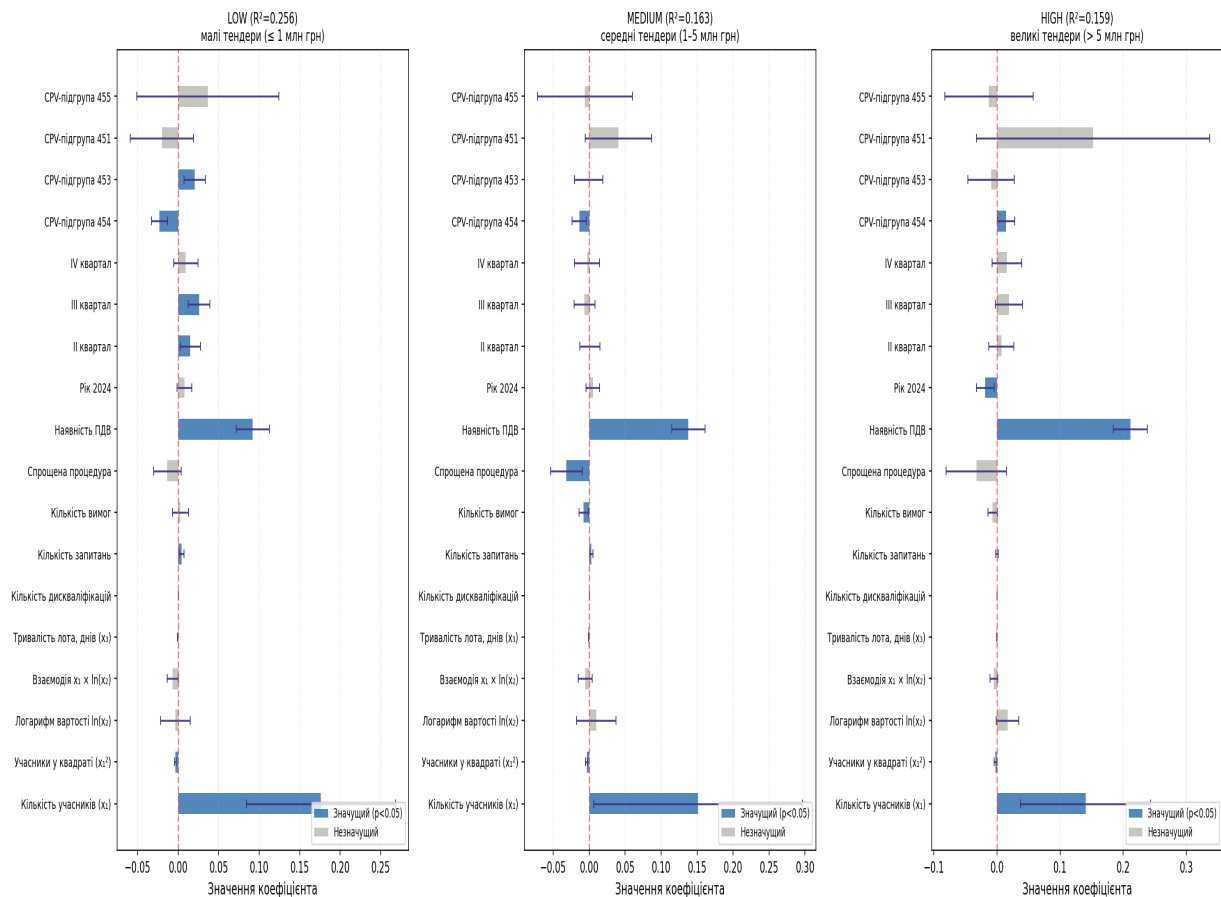


Рисунок 2.4 — Оцінка впливу факторів на ефективність закупівель за сегментами (95% довірчі інтервали)

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Отримані коефіцієнти дозволяють провести порівняльний аналіз впливу окремих процедурних факторів по сегментах.

1) Конкуренція (x_1, x_1^2)

Вона найсильніше знижує ціни в усіх сегментах, але сила впливу відрізняється. Лінійний коефіцієнт при x_1 дорівнює +0,1819 у нижньому сегменті, +0,1994 у середньому сегменті, +0,1218 у верхньому сегменті. Початковий ефект залучення додаткового учасника у малих і середніх тендерах однаковий. Він складає 18–20 % від потенційного зниження ціни на одного учасника. У великих тендерах цей ефект слабший приблизно на 30%. Квадратичний коефіцієнт при x_1^2 від'ємний у всіх сегментах і близький один до одного. Він складає –0,00366 у нижньому сегменті, –0,00366 у середньому сегменті, –0,00198 у верхньому сегменті. Діє закон спадної граничної віддачі. Перші 2-4 учасники створюють максимальний тиск на ціну, кожен наступний учасник має менший додатковий ефект.

2) Точка максимуму функції $y(x_1)$

Це така кількість учасників, після якої залучення не приносить приросту економії. Вона обчислюється з умови $\partial y / \partial x_1 = 0$, $a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot x_1 = 0$, звідки:

$$x_1^* = \frac{-a_1}{2a_2}. \quad (2.19)$$

Оптимальні значення можна отримати за допомогою підстановки коефіцієнтів. Це x_1 орієнтовно 25 учасників для нижнього сегменту, 27 учасників для середнього сегменту, 31 учасник для верхнього. Однак такі теоретичні і не зустрічаються у вибірці, тому що максимумом є 21 учасник. У діапазоні від 2 до 10 учасників функція зростає, але з різною кривизною. Для нижнього сегменту 4-6 учасників це оптимальна точка з максимальною віддачею для замовника, для середнього 4-7 учасників, для верхнього 5-8 учасників.

3) Вплив масштабу ($\ln(x_2)$)

Коефіцієнт при логарифмі очікуваної вартості $\ln(x_2)$ має суттєві відмінності. У нижньому сегменті він складає –0,0060, у середньому +0,0201. В обох випадках він

статистично незначущий. У верхньому сегменті він дорівнює $+0,0185$ і є значущим на рівні 5%. В малих, середніх тендерах ефект масштабу не самостійний фактор ефективності. Варіація вартості всередині сегмента не визначає економію. У великих тендерах збільшення очікуваної вартості на 1% пов'язане з ростом ефективності на $0,0185$ %. З економічної точки зору, існує більший абсолютний коридор торгу для великих контрактів. В результаті невеликі відсотки економії дають великі абсолютні суми.

4) Інтерактивний ефект ($x_1 \cdot \ln(x_2)$)

Змінна ($x_1 \cdot \ln(x_2)$) значуща у нижньому сегменті ($a_4 = -0,00695$, $p = 0,045$), гранична у середньому, відсутня у верхньому. Від'ємний знак означає, що сила впливу конкуренції слабшає, коли зростає масштабу всередині кожного сегмента. У верхньому сегменті взаємодія між конкуренцією і масштабом незначуща. Олігополістичний ринок великих генеральних підрядників зменшує чутливість конкуренції до розміру конкретного тендеру.

5) Тривалість підготовки лота (x_3)

Вплив тривалості підготовки найстабільніший. Він значущий у всіх сегментах і має близькі коефіцієнти. Це $-0,00074$ у нижньому сегменті, $-0,00131$ у середньому, $-0,00106$ у верхньому. Затягування процедури закупівлі на кожні 10 додаткових днів втрачає від 0,7 до 1,3% потенційної економії. Більше часу мало би змогу залучити більше учасників, але через макроекономічну нестабільність і швидку зміну цін на будівельні матеріали довгі тендери змушують підрядників закладати додаткові ризики у пропозиції (інфляційна, валютна премія).

6) Фактори конфліктності (x_4 , x_5 , x_6)

Кількість дискваліфікацій (x_4) незначуща у всіх сегментах, тобто впливу фактору на ефективність немає. Кількість запитань (x_5) має значущий вплив у нижньому і середньому сегменті ($+0,00489$ і $+0,00414$), але незначущий у верхньому. Комунікація учасників і замовника у малих та середніх тендерах відображає інтерес ринку до тендеру. Вона підвищує ефективність. У великих тендерах цей механізм не

працює. Учасники великих контрактів мають експертизу для незалежного оцінювання документації тендерів без додаткових запитань. Кількість вимог (x_6) значуща середньому сегменті. Вона має від'ємний коефіцієнтом $-0,00693$, тобто процедурні конфлікти негативно впливають на редукцію у середньому сегменті.

Ключові кількісні висновки зображено на табл. 2.14.

Таблиця 2.14 — Кількісний аналіз впливу факторів на ефективність

<i>Фактор</i>	<i>Вплив у нижньому сегменті</i>	<i>Вплив у середньому сегменті</i>	<i>Вплив у верхньому сегменті</i>
+1 учасник на тендер (від 2 до 3)	+13,5 %	+15,1 %	+9,8 %
+1 учасник (від 5 до 6)	+7,6 %	+9,2 %	+5,4 %
+10 днів тривалості	-0,74 %	-1,31 %	-1,06 %
+1 запитання	+0,49 %	+0,41 %	0 (незначний)
+1 вимога	0 (незначний)	-0,69 %	0 (незначний)
+1% очікуваної вартості	0 (незначний)	0 (незначний)	+0,019 %

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Висновком економетричного моделювання є те, що вплив факторів на ефективність є різним істотно залежно від масштабу контракту. Загальна модель сукупності тендерів без сегментації приховує відмінності і призводить до низької загальної пояснювальної здатності ($R^2 = 0,134$). Сегментована модель пояснює що:

- у малих тендерах ефективність формується через високу конкуренцію, інтерес ринку, тобто запитання ;
- у середніх тендерах додатково є негативні ефекти процедурних конфліктів, тобто вимоги;
- у великих тендерах розглянуті фактори пояснюють незначну частку варіації.

РОЗДІЛ 3

СЦЕНАРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКУПІВЕЛЬ В УМОВАХ ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ

3.1 Методологія побудови прогнозних сценаріїв

Три економетричні моделі ефективності закупівель побудовано для нижнього, середнього та верхнього сегментів. Кожна модель кількісно описує вплив факторів процедури на показник відносної фінансової економії, але факт наявності оцінених коефіцієнтів не дає змоги робити прямі управлінські висновки. Щоб застосувати моделі на практиці, потрібно перейти від статистичного опису до прогнозування.

Мета сценарного моделювання — кількісна оцінка, яка відображає як зміняться показники ефективності закупівель при різних умовах конкурентного середовища. Сценарний підхід дозволяє відповісти на практичні питання для замовників, регуляторів. Наприклад, наскільки зросте економія бюджетних коштів, якщо залучити більше учасників на тендер, чи наскільки вона впаде, якщо процедури затягнуться.

Для сценарного прогнозування використано метод підстановки. Суть методу полягає в тому, що для кожного сегмента беруться оцінені коефіцієнти регресії. У фінальне рівняння моделі підставляються конкретні значення незалежних змінних. Ці змінні відповідають певному сценарію. Результатом буде точковий прогноз ефективності для цього сценарію. Загальний вигляд прогнозного рівняння має вигляд:

$$\hat{y}_{\text{прогноз}} = a_0 + a_1 x_1^c + a_2 (x_1^c)^2 + a_3 \ln(x_2^c) + a_4 (x_1^c \ln(x_2^c)) + a_5 x_3^c + \dots, \quad (3.1)$$

де $\hat{y}_{\text{прогноз}}$ — прогнозоване значення ефективності;

$a_0 \dots a_5$ — коефіцієнти регресії відповідного сегмента;

$x_1^c, x_2^c, x_3^c \dots$ — значення незалежних змінних, які задані сценарієм.

Три типові сценарії побудовано для кожного сегмента. Песимістичний сценарій відображає несприятливі умови. Базовий сценарій — це поточний стан ринку. Оптимістичний сценарій моделює сприятливі умови з активною конкуренцією.

Підхід з використанням трьох сценаріїв є стандартним інструментом економічного прогнозування. Такий підхід дає змогу окреслити не одне очікуване значення, а діапазон можливих результатів. Песимістичний сценарій задає нижню межу цього діапазону. Оптимістичний сценарій задає верхню межу. Базовий сценарій показує найбільш ймовірний результат. Така структура надає повне уявлення про можливі наслідки особі, яка приймає рішення. Окрім очікуваного результату вона бачить масштаб ризику, якщо події будуть розвиватись несприятливо.

Усі сценарії побудовано за принципом інших рівних умов. Суть принципу у тому, що при формуванні сценарію змінюються виключно фактори, які характеризують сам сценарій. Решта факторів фіксується на сталому рівні. Завдяки цьому отримані відмінності у прогнозах можна віднести на рахунок заданих змін. Принцип інших рівних умов є базовим для порівняння сценаріїв між собою.

Для базового сценарію значення незалежних змінних взято на рівні медіани сегмента. Медіана обрана замість середнього арифметичного, тому що розподіл більшості показників має правосторонню асиметрію. У таких умовах медіана краще відображає типовий тендер. Базовий сценарій показує, якою є очікувана ефективність за поточних, незмінних умов ринку.

Для песимістичного сценарію задано умови низької конкуренції. Кількість учасників дорівнює одиниці, тобто тендер фактично неконкурентний. Тривалість процедури збільшено відносно медіани. Додано наявність дискваліфікацій та вимог щодо усунення порушень. Цей сценарій моделює типову ситуацію для прифронтових регіонів, тендерів, які мають складні технічні умови.

Для оптимістичного сценарію задано умови активної конкуренції. Кількість учасників встановлено на цільовому рівні. Тривалість процедури скорочено відносно

медіани. Дискваліфікації, вимоги відсутні. Цей сценарій моделює організований тендер у безпечному регіоні з розвиненим ринком підрядників.

Вибір цільової кількості учасників для оптимістичного сценарію. Теоретично оптимальна кількість учасників, за якої ефективність максимальна, визначається з умови рівності нулю першої похідної функції. Для квадратичної форми це дає значення $x^* = 24,8$ для нижнього сегмента, 27,2 для середнього сегмента, 30,8 для верхнього сегмента, але ці значення є теоретичними. У реальній вибірці максимальна кількість учасників не перевищує 21, тому для оптимістичного сценарію обрано реалістичне цільове значення. Це 8 учасників. Воно є амбіційним, але досяжним для стимулювання конкуренції. Параметри сценаріїв наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 — Параметри прогнозних сценаріїв за сегментами

Сегмент	Сценарій	Учасники	Тривалість	Дискваліфікації	Питання	Вимоги
Нижній	Песимістичний	1	32,5	2	0	2
Нижній	Базовий	2	26,0	0	0	0
Нижній	Оптимістичний	8	21,3	0	0	0
Середній	Песимістичний	1	36,2	2	0	2
Середній	Базовий	2	29,0	0	0	0
Середній	Оптимістичний	8	23,8	0	0	0
Верхній	Песимістичний	1	43,8	2	0	2
Верхній	Базовий	2	35,0	0	0	0
Верхній	Оптимістичний	8	28,7	0	0	0

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Вибір методу підстановки обумовлений специфікою вхідних даних. Вибірка дослідження є крос-секційною. Вона містить тендери різних замовників за один період, а не один показник у динаміці за роками. Через це класичні методи прогнозування часових рядів, такі як наприклад моделі авторегресії або

експоненційного згладжування, до цих даних застосувати неможливо. Часовий ряд для них відсутній. Метод підстановки працює з крос-секційними регресійними моделями. Він прогнозує не майбутній період, а очікуваний результат за заданих умов тендеру.

Метод підстановки має обмеження. Прогноз є точковим, тобто дає одне число без інтервальної оцінки невизначеності. Прогноз передбачає, що структура зв'язків між змінними залишається однаковою. Також прогноз коректний виключно у межах діапазону вхідних даних. Якщо підставляти значення, які виходять за межі спостережуваної вибірки, результат може бути ненадійним. Тому цільову кількість учасників для оптимістичного сценарію обмежено реалістичним значенням.

3.2 Побудова базового, оптимістичного та песимістичного сценаріїв

Підстановка параметрів з табл. 3.1 у прогнозні рівняння трьох моделей дає точкові прогнози ефективності. Результати сценарного прогнозування наведено у табл. 3.2, згідно якої базовий рівень ефективності близький для всіх сегментів. Він складає від 13,20% до 13,79%. Це означає, що за поточних, типових умов ринку економія бюджетних коштів приблизно однакова незалежно від масштабу тендеру.

Таблиця 3.2 — Результати сценарного прогнозування ефективності закупівель

<i>Сегмент</i>	<i>Сценарій</i>	<i>Прогноз RSR, %</i>	<i>Δ до базового, %</i>
Нижній	Песимістичний	4,58	-8,62
Нижній	Базовий	13,20	0,00
Нижній	Оптимістичний	46,22	+33,02
Середній	Песимістичний	5,29	-8,50

Продовження таблиці 3.2

<i>Сегмент</i>	<i>Сценарій</i>	<i>Прогноз RSR, %</i>	<i>Δ до базового, %</i>
Середній	Базовий	13,79	0,00
Середній	Оптимістичний	36,08	+22,29
Верхній	Песимістичний	7,51	-6,23
Верхній	Базовий	13,74	0,00
Верхній	Оптимістичний	37,16	+23,42

Джерело: розраховано автором на основі даних [20]

Розмах між песимістичним та оптимістичним сценаріями є значним. Для нижнього сегмента ефективність змінюється від 4,58% до 46,22%. Тобто перехід від неконкурентного до висококонкурентного тендеру підвищує економію на 41,64 відсоткові пункти. Для середнього та верхнього сегментів розмах складає приблизно 31 і 30 відсоткових пунктів.

Відмінність має економічне пояснення. Нижній сегмент об'єднує дрібні будівельні підряди. Ринок таких підрядів є конкурентним. На ньому працює багато потенційних виконавців, тому залучення додаткових учасників дає сильний ціновий ефект. Верхній сегмент описує великі інфраструктурні проєкти. Ринок таких проєктів є олігополістичним. Коло генеральних підрядників обмежене, тому конкуренція дає менший ефект, ніж у дрібних тендерах. Порівняння сценарних прогнозів наведено на рис. 3.1.

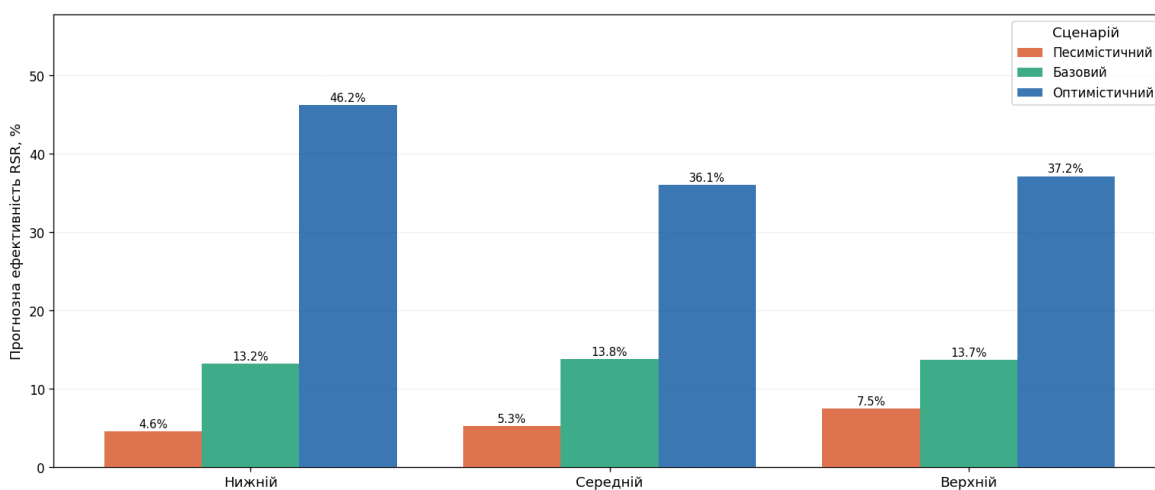


Рисунок 3.1 — Сценарні прогнози ефективності закупівель по сегментах
Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Графік на рис. 3.1 демонструє головний висновок підрозділу. Песимістичний і базовий сценарій дають схожі результати для всіх сегментів. Оптимістичний сценарій різко відрізняється. Найвищий стовпчик належить нижньому сегменту. Це підтверджує, що політика стимулювання конкуренції діє найбільше для дрібних будівельних тендерів.

Песимістичний сценарій з ефективністю 5% є загрозою для бюджету. Він реалізується кожного разу, коли тендер проходить без конкуренції. Базовий сценарій з ефективністю 13% відображає поточний стан і не є задовільним. Оптимістичний сценарій показує наявний резерв. Якщо середню кількість учасників підняти до восьми, економія зросте у два-три рази.

Для оцінки практичного значення отриманих сценаріїв доцільно перевести відсоткові показники у грошовий вимір. Сумарна очікувана вартість усіх тендерів вибірки складає 112,55 млрд грн. З цієї суми верхній сегмент займає 101,21 млрд грн, середній займає 9,43 млрд грн, нижній займає 1,91 млрд грн. Така структура пояснюється тим, що окремі великі інфраструктурні проєкти мають високу вартість. Розрахунок бюджетного ефекту за трьома сценаріями наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 — Оцінка бюджетного ефекту сценаріїв у грошовому вимірі

<i>Сценарій</i>	<i>Середня ефективність, %</i>	<i>Економія бюджету, млрд грн</i>
Песимістичний	6	6,75
Базовий	13	14,86
Оптимістичний	40	45,02

Джерело: розраховано автором на основі даних [20]

Розрахунок у табл. 3.3 показує масштаб потенційної економії. При базовому сценарії економія бюджету складає 14,86 млрд грн. При оптимістичному сценарії вона зростає до 45,02 млрд грн. Різниця між двома сценаріями складає понад 30 млрд грн. Це є тим резервом коштів, який можливо вивільнити завдяки підвищенню конкуренції на тендерах. Отримана сума зіставна з річними видатками на відновлення окремої галузі соціальної інфраструктури. Наведені цифри стосуються лише вибірки дослідження. У масштабах усієї системи публічних закупівель потенційний ефект є більшим.

Важливо зазначити, що оптимістичний сценарій є орієнтиром. Він не є гарантованим результатом. Досягнення середнього рівня 8 учасників на тендер потребує системних зусиль, але часткове наближення до цього орієнтиру дає відчутний фінансовий ефект. Підвищення середньої кількості на одного учасника здатне додати певну кількість коштів економії, яка може сягати мільярдів гривень.

Точкові прогнози у табл. 3.2 показують підсумковий результат, але також доцільно провести декомпозицію прогнозу. Декомпозиція розкладає підсумкове значення ефективності на внески окремих складових рівняння. Кожна складова є добутоком коефіцієнта регресії на відповідне значення змінної. Результати декомпозиції базового, оптимістичного сценаріїв для нижнього сегмента зображено на табл. 3.4.

Таблиця 3.4 — Декомпозиція внеску складових прогнозу для нижнього сегмента, в.п.

<i>Складова рівняння</i>	<i>Базовий сценарій</i>	<i>Оптимістичний сценарій</i>
Константа	+6,17	+6,17
Кількість учасників (лінійна частина)	+36,38	+145,51
Кількість учасників (квадратична частина)	-1,46	-23,43
Логарифм вартості	-7,79	-7,79
Взаємодія учасників та вартості	-18,16	-72,65
Тривалість лота	-1,93	-1,58
Підсумковий прогноз RSR	+13,20	+46,22

Джерело: розраховано автором на основі даних [20]

З табл. 3.4, лінійна частина кількості учасників має найбільший позитивний внесок. Для оптимістичного сценарію він складає 145,51 відсоткового пункту. Проте цей внесок частково компенсується двома від'ємними складовими. Це квадратична частина та взаємодія учасників з вартістю. Квадратична частина відображає спадну граничну віддачу. Взаємодія відображає послаблення впливу конкуренції зі зростанням масштабу тендеру. Підсумковий прогноз є результатом балансу цих складових.

Декомпозиція пояснює, чому оптимістичний сценарій не дає ефективності у сотні відсотків не дивлячись на значний лінійний внесок. Від'ємні складові виконують роль природного обмежувача. Вони не дозволяють моделі давати нереалістично високі прогнози. Це підтверджує коректність побудованої специфікації моделі.

3.3 Кількісна оцінка чутливості показника ефективності

Сценарний аналіз показав загальний діапазон зміни ефективності, але не дає відповіді на питання, який саме фактор має найбільший вплив. Для цього проводиться окремий аналіз чутливості. Мета аналізу полягає у визначенні того, наскільки зміниться прогнозна ефективність при зміні одного фактора за умови, що всі інші фактори залишаються незмінними.

Першим досліджено вплив конкурентного середовища. Для кожного сегмента розраховано прогнозну ефективність при кількості учасників від одного до восьми. Решта параметрів зафіксовано на медіанному рівні. Результати наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 — Залежність прогнозної ефективності від кількості учасників

<i>Кількість учасників</i>	<i>Нижній, %</i>	<i>Середній, %</i>	<i>Верхній, %</i>
1	5,19	7,62	8,57
2	13,20	13,79	13,74
3	20,47	19,22	18,52
4	27,02	23,92	22,91
5	32,83	27,89	26,90
6	37,91	31,13	30,49
7	42,26	33,63	33,69
8	45,87	35,40	36,49

Джерело: розраховано автором на основі даних [20]

Дані табл. 3.5 підтверджують нелінійний характер впливу конкуренції. Перехід від одного до двох учасників дає найбільший приріст ефективності. Для нижнього

сегмента він складає близько 8 відсоткових пунктів. Кожен наступний учасник дає менший додатковий ефект. Це є проявом закону спадної граничної віддачі.

У нижньому сегменті крива зростає найстрімкіше. При восьми учасниках прогнозна ефективність сягає 45,87%. У середньому, верхньому сегментах вісім учасників дають близько 35–36%. Це повторно підтверджує вищу цінову чутливість дрібних тендерів до конкуренції. Графічне зображення кривих граничного ефекту наведено на рис. 3.2.

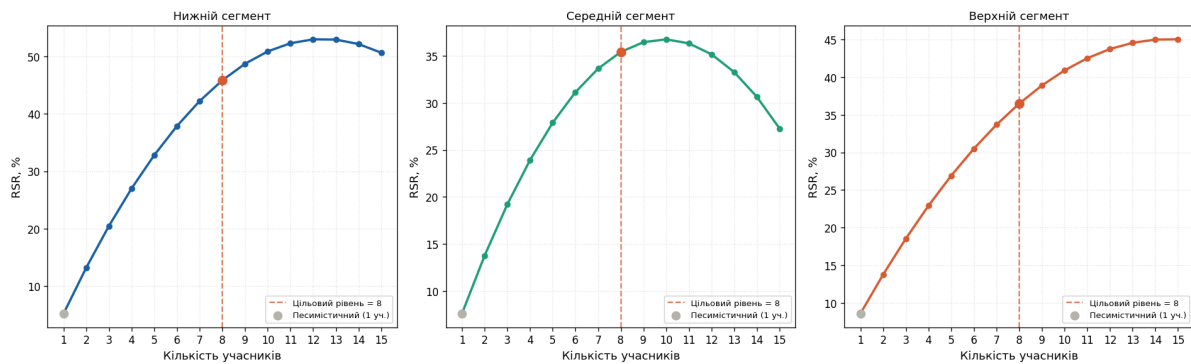


Рисунок 3.2 — Крива граничного ефекту конкуренції

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Графік на рис. 3.2 розширює аналіз до 15 учасників. Це дозволяє побачити поведінку моделі за межами реалістичного діапазону. Для середнього сегмента крива досягає піку приблизно при 10 учасниках, після цього вона починає спадати. Це означає, що теоретично надмірна кількість учасників може знижувати ефективність. Однак подібна ситуація не зустрічається на практиці, тому що реальна кількість учасників у рідких випадках перевищує вісім.

Спадання кривої середнього сегмента після піку потребує аналізу. Більша конкуренція має завжди підвищувати економію. Однак крива є математичним наслідком квадратичної форми моделі. Від'ємний коефіцієнт при квадраті кількості учасників робить параболу спадною після певної точки. Економічне пояснення полягає в тому, що за великої кількості учасників частина з них може подавати неконкурентні або непідготовлені пропозиції. Це збільшує кількість дискваліфікацій і затягує процедуру. Проте, як зазначено, цей ефект теоретичний. У реальних тендерах

будівельної галузі кількість учасників практично ніколи не сягає десяти. Через це для практичних цілей криву слід розглядати лише у діапазоні від одного до восьми учасників. У ньому вона монотонно зростає.

Щоб дослідити вплив усіх процедурних факторів одночасно, застосовано стандартизований аналіз чутливості. Кожен фактор по черзі змінювали на одне стандартне відхилення вгору і вниз від базового значення. Зміну прогнозованої ефективності у відсоткових пунктах фіксували. Це дає змогу порівняти фактори між собою на одній шкалі. Результати зображено на табл. 3.6.

Таблиця 3.6 — Розмах чутливості ефективності до зміни факторів на ± 1 стандартне відхилення, в.п.

<i>Фактор</i>	<i>Нижній</i>	<i>Середній</i>	<i>Верхній</i>
Кількість учасників	20,23	13,30	11,78
Тривалість лота	2,07	4,25	4,65
Кількість запитань	0,78	0,85	0,53
Кількість дискваліфікацій	0,26	0,11	0,44
Кількість вимог	0,03	0,44	0,05

Джерело: розраховано автором на основі даних [20]

Аналіз табл. 3.6 дає висновок, що кількість учасників є найбільшим фактором впливу в усіх сегментах. Її розмах чутливості складає від 11,78 до 20,23 відсоткового пункту. Це у кілька разів перевищує вплив будь-якого іншого фактора. Другим за силою впливу є тривалість лота. Решта факторів, такі як запитання, дискваліфікації, вимоги мають незначний вплив. Також існує відмінність у силі впливу тривалості між сегментами. Для нижнього сегмента розмах складає 2,07 відсоткового пункту. Для верхнього сегмента він дорівнює 4,65 відсоткового пункту. Це пояснюється тим, що великі інфраструктурні проєкти мають довшу тривалість. У них накопичується більше інфляційних та валютних ризиків при затягуванні процедури. Графічне зображення аналізу чутливості наведено на рис. 3.3.

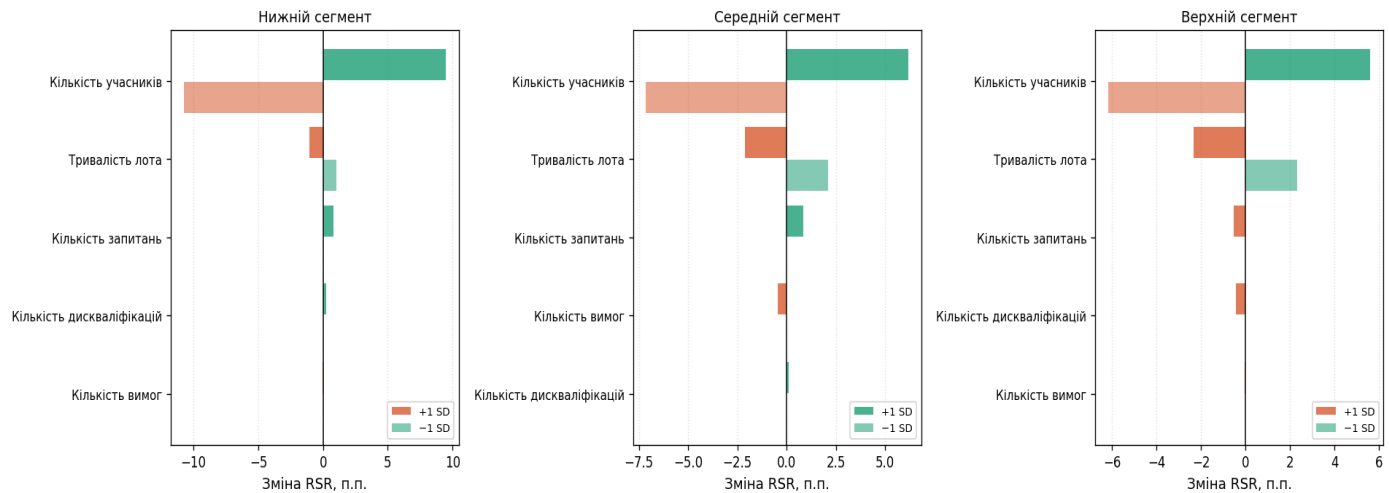


Рисунок 3.3 — Аналіз чутливості ефективності до зміни факторів

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Графік на рис. 3.3 візуально підтверджує висновок таблиці. Смуга кількості учасників найдовша в усіх сегментах. Це показує, що управлінські зусилля потрібно зосереджувати в першу чергу на стимулюванні конкуренції. Вплив на тривалість процедури є другим за пріоритетністю напрямом.

Аналіз чутливості досліджував вплив кожного фактора окремо, але у реальних умовах фактори змінюються одночасно, тому доцільно провести комбінований аналіз. Він відображає, як змінюється ефективність при одночасній зміні двох найважливіших факторів. Цими факторами є кількість учасників та тривалість лота. Результати розрахунку для нижнього сегмента зображено на табл. 3.7.

Таблиця 3.7 — Прогнозна ефективність нижнього сегмента за комбінацією кількості учасників і тривалості лота, %

Кількість учасників	14 днів	21 день	30 днів	45 днів	60 днів
2	14,09	13,57	12,90	11,79	10,67
3	21,36	20,84	20,18	19,06	17,95
5	33,72	33,20	32,53	31,42	30,31
8	46,76	46,25	45,58	44,47	43,35

Джерело: розраховано автором на основі даних [20]

За табл. 3.7, вплив кількості учасників перевищує вплив тривалості. Перехід від двох до восьми учасників підвищує ефективність на 32%. Зміна тривалості з 14 до 60 днів знижує ефективність на 3–4%. Також два фактори діють незалежно один від одного. Негативний вплив тривалості однаковий за будь-якої кількості учасників, тобто ефект затягування процедури не залежить від рівня конкуренції.

Найкращий результат досягається за поєднання двох умов. Перша умова: висока конкуренція. Друга умова: коротка тривалість процедури. Найгірший результат: протилежне поєднання (низька конкуренція, довга процедура). Різниця між кращою та гіршою комбінацією для нижнього сегмента складає 36%. Комбінований аналіз у вигляді теплової карти зображено на рис. 3.4.

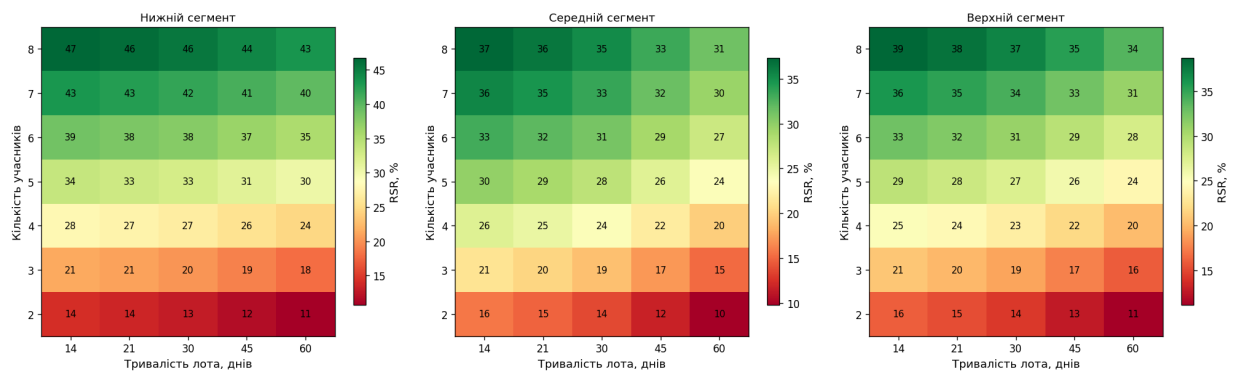


Рисунок 3.4 — Прогнозна ефективність за комбінацією конкуренції та тривалості

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

З рис. 3.4, зелена зона у верхній частині карти відповідає високій ефективності. Вона досягається за великої кількості учасників. Червона зона у нижній частині відповідає низькій ефективності. Вертикальний градієнт кольору вираженіший, ніж горизонтальний, тобто конкуренція важливіша за тривалість.

3.4 Стрес-тестування сценаріїв

Сценарії, які були побудовані у попередніх підрозділах, спираються на усереднені дані всієї вибірки. Проте умови проведення закупівель відрізняються між регіонами України. За підрозділом 1.2, рівень конкуренції залежить від безпекової ситуації. У безпечніших західних та центральних областях на тендери приходять більше учасників. У прифронтових областях конкуренція значно нижча. Стрес-тестування перевіряє, як регіональна асиметрія впливає на ефективність закупівель.

Для стрес-тестування виділено три регіональні профілі конкурентності. Безпечний профіль відповідає областям без прямих безпекових ризиків. Для нього характерна середня кількість учасників дорівнює трьом. Середній профіль відповідає областям з помірними ризиками. Для нього середня кількість учасників складає два. Прифронтовий профіль відповідає областям з постійними безпековими загрозами. Для нього кількість учасників знижено до півтора. Дробове значення відображає високу частку неконкурентних тендерів у таких регіонах.

Для кожного профілю розраховано прогнозну ефективність по сегментах. Інші параметри зафіксовано на медіанному рівні. Результати зображено на табл. 3.8.

Таблиця 3.8 — Результати стрес-тестування за регіональними профілями конкурентності

<i>Сегмент</i>	<i>Регіональний профіль</i>	<i>Учасники</i>	<i>Прогноз RSR, %</i>	<i>Втрати до безпечного, в.п.</i>
Нижній	Безпечний	3,0	20,47	0,00
Нижній	Середній	2,0	13,20	–7,28
Нижній	Прифронтовий	1,5	9,28	–11,19
Середній	Безпечний	3,0	19,22	0,00

Продовження таблиці 3.8

<i>Сегмент</i>	<i>Регіональний профіль</i>	<i>Учасники</i>	<i>Прогноз RSR, %</i>	<i>Втрати до безпечного, в.п.</i>
Середній	Середній	2,0	13,79	–5,43
Середній	Прифронтний	1,5	10,80	–8,43
Верхній	Безпечний	3,0	18,52	0,00
Верхній	Середній	2,0	13,74	–4,78
Верхній	Прифронтний	1,5	11,21	–7,32

Джерело: розраховано автором на основі даних [20]

За табл. 3.8, існує регіональний розрив у ефективності закупівель. Для нижнього сегмента перехід від безпечного до прифронтного профілю знижує ефективність з 20,47% до 9,28%. Втрати складають 11,19 відсоткового пункту. Це означає, що дрібні будівельні тендери у прифронтних регіонах втрачають більше половини потенційної економії.

Для середнього, верхнього сегментів регіональний розрив менший. Він складає 8,43 і 7,32 відсоткового пункту. Розрив є меншим, тому що великі тендери у будь-якому регіоні залучають обмежене коло підрядників. Через це додатковий негативний вплив безпекового фактора для них слабший.

Безпекова ситуація впливає на ефективність закупівель не прямо, а через канал конкуренції. У прифронтних регіонах будівельні компанії стикаються з реальними загрозами. Наприклад, ризик знищення техніки, загроза життю працівників, неможливість планувати роботи на тривалий період. Через загрози частина потенційних учасників відмовляється від участі у тендерах. Інша частина закладає у ціну пропозиції додаткову премію за ризик. Обидва ефекти знижують конкурентний тиск на ціну. Результатом є нижча ефективність закупівель. Стрес-тестування кількісно вимірює сумарний наслідок цих процесів.

Регіональний профіль у проведеному стрес-тесті задано через рівень конкуренції. Прямої змінної регіону у моделі немає. Це є певним спрощенням. Точніша оцінка регіонального впливу потребує включення географічної змінної безпосередньо до інформаційної бази. Проте опосередкований підхід дає змістовний результат. Він показує, що відмінності у безпековій ситуації між регіонами трансформуються у відчутні відмінності у фінансовій ефективності закупівель.

Результати стрес-тестування показують, що єдина закупівельна політика для всієї країни неоптимальна. Прифронтові регіони потребують окремих заходів стимулювання конкуренції. Графічне зображення результатів стрес-тестування наведено на рис. 3.5.

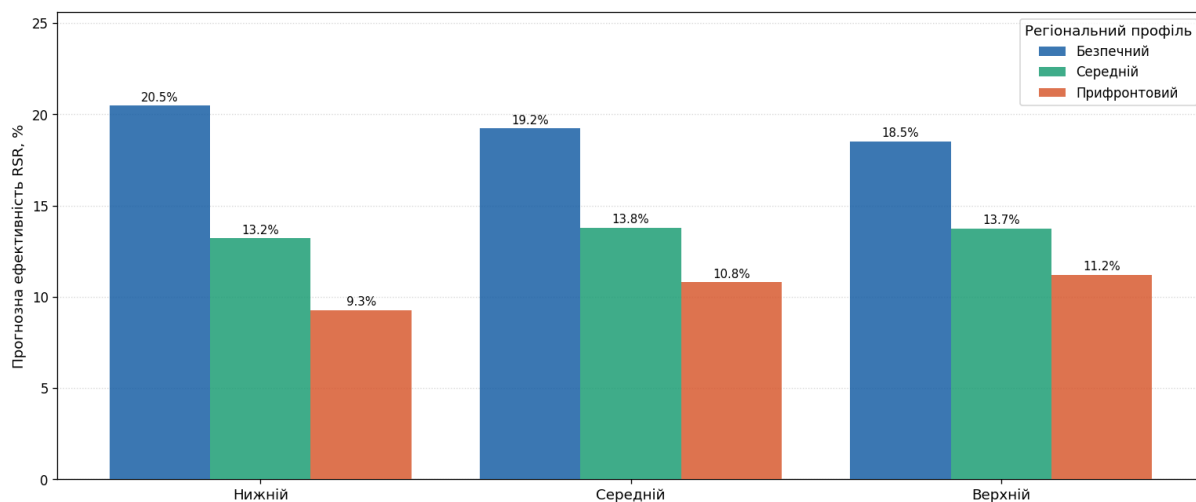


Рисунок 3.5 — Стрес-тест прогнозової ефективності за регіональними профілями

Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

Графік на рис. 3.5 відображає спадання ефективності при погіршенні безпекового профілю. Падіння послідовне для всіх сегментів. Найбільше падіння відбувається у нижньому сегменті. Це підтверджує, що дрібні тендери найбільш чутливі до регіональної безпекової ситуації.

3.5 Оцінка стійкості прогнозних сценаріїв

Усі побудовані прогнози є точковими. Такий прогноз дає одне конкретне число. Будь-який прогноз, який був отриманий на основі статистичної моделі, містить невизначеність. Вона виникає через те, що коефіцієнти регресії оцінено за вибіркою, а не за всією сукупністю. Для оцінки невизначеності будують довірчий інтервал прогнозу. Цей інтервал показує діапазон, у якому з заданою ймовірністю знаходиться справжнє значення прогнозу.

Довірчий інтервал для прогнозу середнього значення розраховується за формулою:

$$\hat{y} \pm t\left(\frac{\alpha}{2}; n - k - 1\right) SE(\hat{y}), \quad (3.2)$$

де $\hat{y}$ — точковий прогноз ефективності;

$t\left(\frac{\alpha}{2}; n - k - 1\right)$ — критичне значення розподілу Стьюдента для рівня значущості α ;

$SE(\hat{y})$ — стандартна похибка прогнозу;

n — обсяг вибірки;

k — кількість пояснювальних змінних.

Стандартна похибка прогнозу залежить від двох чинників. Перший чинник це загальна точність моделі. Другий чинник це віддаленість заданих значень змінних від середніх значень вибірки. Чим далі сценарій від типових умов, тим ширший довірчий інтервал. Розрахунок проведено для рівня довіри 95%. Результати наведено у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 — Точкові прогнози та 95% довірчі інтервали ефективності за сценаріями

<i>Сегмент</i>	<i>Сценарій</i>	<i>Прогноз RSR</i>	<i>Нижня межа</i>	<i>Верхня межа</i>	<i>Ширина</i>
Нижній	Песимістичний	4,58	2,38	6,78	4,40
Нижній	Базовий	13,20	12,64	13,75	1,11
Нижній	Оптимістичний	46,22	43,99	48,46	4,47
Середній	Песимістичний	5,29	3,61	6,98	3,37
Середній	Базовий	13,79	13,18	14,39	1,21
Середній	Оптимістичний	36,08	33,38	38,77	5,39
Верхній	Песимістичний	7,51	4,92	10,10	5,18
Верхній	Базовий	13,74	12,78	14,71	1,93
Верхній	Оптимістичний	37,16	33,15	41,17	8,02

Джерело: розраховано автором на основі даних [20]

За табл. 3.9, базовий сценарій має найменший довірчий інтервал у всіх сегментах. Його ширина складає від 1,11 до 1,93 відсоткового пункту. Прогноз базового сценарію надійний. Причина у тому, що базовий сценарій відповідає типовим, медіанним умовам вибірки. Модель найкраще працює поблизу середніх значень.

Песимістичний та оптимістичний сценарії мають ширші довірчі інтервали. Вони описують умови, які віддалені від типових. Для оптимістичного сценарію кількість учасників дорівнює восьми, медіана дорівнює двом. Віддаленість від медіани підвищує невизначеність прогнозу, але найширший інтервал прийнятний. Для оптимістичного сценарію верхнього сегмента ширина дорівнює 8,02 відсоткового пункту.

Довірчі інтервали різних сценаріїв не перетинаються. Інтервал песимістичного сценарію нижнього сегмента дорівнює від 2,38 до 6,78%. Інтервал базового сценарію від 12,64 до 13,75%. Ці діапазони не мають спільних точок. Те саме стосується базового та оптимістичного сценаріїв. Відсутність перетину означає, що відмінності

між сценаріями статистично значущі. Графічне зображення прогнозів зображено на рис. 3.6.

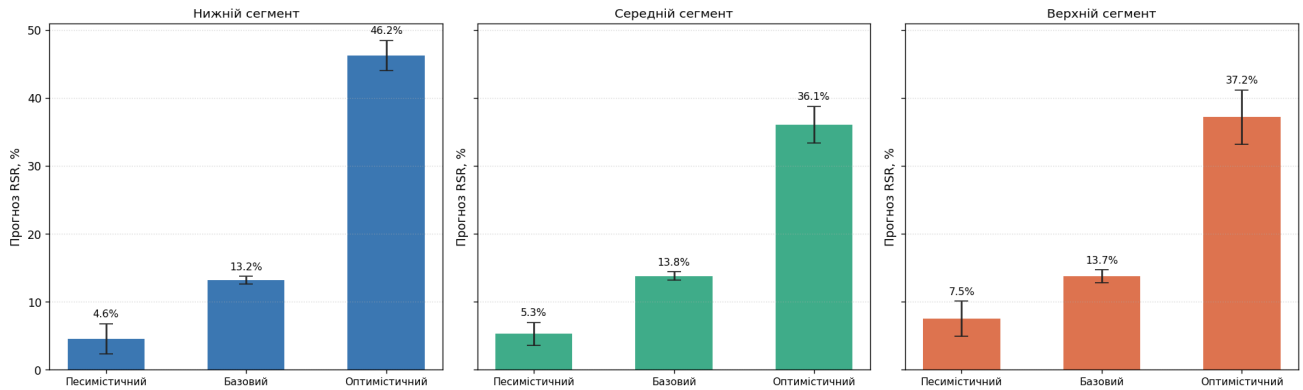


Рисунок 3.6 — Точкові прогнози ефективності з 95% довірчими інтервалами
Джерело: розроблено автором на основі даних [20]

На рис. 3.6 кожен стовпчик супроводжується вертикальною ризикою довірчого інтервалу. Ризики базового сценарію є найкоротшими. Ризики песимістичного та оптимістичного сценаріїв довші. Ризики сусідніх сценаріїв не перекриваються, що підтверджує значущість відмінностей між сценаріями.

Для оцінки стійкості сценаріїв до зміни вхідних припущень проведено додаткову перевірку. Цільову кількість учасників для оптимістичного сценарію змінювали у діапазоні від шести до десяти. Прогноз перераховували для кожного значення. Зміна цільового значення на одного учасника змінює прогноз нижнього сегмента на 4-5 відсоткових пунктів. Це помірна чутливість. Вона означає, що висновки роботи не залежать критично від конкретного вибору цільового значення. За більш консервативного припущення у шість учасників оптимістичний сценарій залишається вищим, ніж базовий.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження теоретичних засад дозволило розкрити сутність публічних закупівель як ключового механізму ефективного розподілу бюджетних коштів на відбудову інфраструктури України. Встановлено, що електронна система «Prozorro» з 2016 року створила можливість для проведення тендерів, які відповідають міжнародним стандартам відкритих даних OCDS. Запровадження режиму воєнного стану та постанова Кабінету Міністрів № 1178 змінили процедурне середовище. Було скорочено терміни підготовки лотів, дозволено укладання договорів за наявності лише однієї пропозиції, спрощено вимоги до учасників. Відбулось різке падіння конкурентності у 2022 році та поступово відновилося у 2023-2024 роках. Аналіз міжнародного наукового доробку засвідчив, що обрані у роботі фактори моделювання є стандартними для економетричного дослідження публічних закупівель, а порівняння цифрових закупівельних систем з іноземними підтвердило відповідність української системи провідним міжнародним зразкам. Обґрунтовано методологічну необхідність сегментації вибірки тендерів за масштабом закупівлі, оскільки ринки дрібних, середніх і великих будівельних підрядів функціонують за різними економічними законами. Порівняння аналогічних іноземних систем KONEPS, TED та Prozorro показало, що українська платформа за рівнем цифровізації та відкритості даних не поступається провідним світовим аналогам.

Для емпіричної перевірки виявлених теоретичних закономірностей сформовано мікроекономічну базу даних на основі аналітичного блоку BI Prozorro. Вибірка охоплює 10 тисяч завершених будівельних тендерів за 2023–2024 роки. На етапі попереднього аналізу даних здійснено очищення від аномальних значень показника ефективності, вилучено неконкурентні тендери з одним учасником, проведено конструювання нових пояснювальних змінних. Описова статистика виявила значну неоднорідність вибірки за масштабом (стандартне відхилення

очікуваної вартості у понад шість разів перевищує середнє значення), що підтвердило обґрунтованість сегментаційного підходу. Кореляційний аналіз продемонстрував позитивний зв'язок показника ефективності закупівель з кількістю учасників у всіх сегментах (найвищий коефіцієнт 0,42 у нижньому сегменті, найнижчий 0,22 у верхньому). Закономірність підтверджує, що вплив конкуренції на ефективність стійкий, але нерівномірний залежно від масштабу тендеру. Показник відносної фінансової економії обрано як залежну змінну, оскільки він нормує результат на масштаб закупівлі і забезпечує порівнянність тендерів різної вартості між собою.

На основі підготовлених даних побудовано три окремі множинні регресійні моделі для нижнього, середнього і верхнього цінових сегментів із робастними стандартними похибками. Доцільність сегментації формально підтверджено тестом Чоу. Розрахункова F-статистика 5,23 перевищує критичне значення 1,605 при рівні значущості 0,05 ($p < 0,001$). Це свідчить про статистично значущі відмінності у структурі коефіцієнтів між сегментами. Коефіцієнти детермінації моделей склали 22,2% для нижнього, 11,5% для середнього та 7,0% для верхнього сегментів. Спадання від малих до великих тендерів доводить, що для великих інфраструктурних проєктів класичні процедурні фактори втрачають пояснювальну силу, а основну роль відіграють інституційні та регіональні чинники. Діагностика моделей за допомогою тестів Бройша–Пагана, Уайта, Жарка–Бера, Дарбіна–Уотсона, RESET, відстані Кука та VIF підтвердила їхню статистичну адекватність, а перевірка робастності через порівняння повної та скороченої специфікацій довела стійкість отриманих оцінок. За пройденими тестами можна вважати, що побудовані моделі статистично надійні та придатними для прогнозування.

Економічна інтерпретація отриманих коефіцієнтів дозволила сформулювати висновки. По-перше, кількість учасників є основним фактором впливу у всіх трьох сегментах, її дія підпорядкована закону спадної граничної віддачі (квадратичний коефіцієнт є від'ємним і статистично значущим). Перехід від двох до трьох учасників підвищує очікувану ефективність на 13,5 в.п. у нижньому сегменті, на 15,1 в.п. у

середньому та на 9,8 в.п. у верхньому. По-друге, виявлено стабільний негативний вплив тривалості процедури. Кожні 10 додаткових днів знижують ефективність на 0,7-1,3 в.п., що пояснюється закладанням підрядниками інфляційної та валютної премії у пропозицію. По-третє, ефект масштабу виявився статистично значущим лише у верхньому сегменті. У ньому ширший абсолютний коридор торгу створює додатковий потенціал для зниження ціни. По-четверте, фактори процедурної конфліктності (кількість дискваліфікацій, запитань, вимог) у більшості випадків виявилися статистично незначущими, тому вони були вилучені з фінальних специфікацій моделей.

Спираючись на отримані коефіцієнти регресійних моделей, розроблено три прогнозні сценарії ефективності закупівель для кожного цінового сегмента та побудовано точкові прогнози з 95% довірчими інтервалами. Базовий сценарій (медіанні параметри ринку) дає ефективність 13,2% для нижнього сегмента, 13,8% для середнього та 13,7% для верхнього. Песимістичний сценарій (один учасник, подовжена процедура, наявність дискваліфікацій) знижує прогноз до 4,6-7,5%, що відображає реальну загрозу для бюджету при відсутності конкуренції. Оптимістичний сценарій (вісім учасників, скорочена процедура) підвищує прогноз до 36-46%. Розрахунок бюджетного ефекту показав, що різниця між базовим і оптимістичним сценаріями на вибірці дослідження становить 30 млрд грн потенційної економії. Довірчі інтервали різних сценаріїв не перетинаються, що підтверджує значущість відмінностей між ними.

Аналіз чутливості засвідчив, що кількість учасників найбільш впливовий фактор. Розмах чутливості на ± 1 стандартне відхилення складає 11,8-20,2 в.п. Це у кілька разів перевищує вплив будь-якого іншого фактора. Другим за силою впливу є тривалість лота (2,1-4,7 в.п.). Стрес-тестування виявило регіональний розрив у ефективності. Тендери у прифронтових регіонах втрачають від 7,3 до 11,2 в.п. економії порівняно з безпечними областями. Найбільш чутливим до регіональної асиметрії є нижній сегмент, оскільки ринок дрібних будівельних підрядів

безпосередньо залежить від готовності місцевих підрядників до участі. Отриманий результат свідчить про те, що безпекова ситуація впливає на ефективність закупівель не прямо, а через конкуренцію. Зниження кількості учасників у небезпечних регіонах в умовах збройного конфлікту негативно впливає на бюджетну ефективність відбудови.

Для тендерів до 5 млн грн пріоритетним напрямом є стимулювання конкуренції. Наприклад, інформування потенційних учасників, спрощення тендерної документації, скорочення формальних вимог. Оптимальним орієнтиром є залучення 4-7 учасників. Це забезпечить приріст ефективності з урахуванням закону спадної граничної віддачі. Для тендерів понад 5 млн грн класичні процедурні важелі недостатньо ефективні, тому увагу слід приділити структурним реформам ринку. Наприклад, збільшенню кількості підрядників та страхуванню військових ризиків. У всіх сегментах необхідно уникати штучного затягування строків підготовки лотів, оскільки це знижує ефективність.

Отримані кількісні оцінки впливу процедурних факторів на показник відносної фінансової економії можуть бути використані Міністерством економіки України та Антимонопольним комітетом при формуванні політики розвитку публічних закупівель, а також замовниками при плануванні конкретних тендерних процедур у процесі відбудови інфраструктури.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про публічні закупівлі : Закон України від 25 груд. 2015 р. № 922-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19#Text> (дата звернення: 16.02.2026).
2. Інформація про реформу публічних закупівель. Міністерство економіки України: веб-сайт. URL: <https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=1197d60b-5c7b-45ef-bf3a-e08d4cf11c3a&title=InformatsiiaProReformupublichniZakupivli>
3. Офіційний веб-сайт. *Міністерство економіки України* : веб-сайт. URL: <https://me.gov.ua/view/d4fb2474-d492-4450-b8e3-3d586ef35a8e> (дата звернення: 16.02.2026).
4. Про систему. *Prozorro* : веб-сайт. URL: <https://prozorro.gov.ua/about> (дата звернення: 18.02.2026).
5. Open Contracting Data Standard (OCDS). *Open Contracting Partnership* : веб-сайт. URL: <https://standard.open-contracting.org/> (дата звернення: 18.04.2026).
6. DREAM — Цифрова екосистема відбудови та підзвітності : веб-сайт. URL: <https://dream.gov.ua/> (дата звернення: 21.04.2026).
7. Directive 2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on public procurement. *EUR-Lex* : веб-сайт. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0024> (дата звернення: 20.02.2026).
8. Декларація Люганської конференції з відновлення України (Ukraine Recovery Conference URC2022 «Lugano Declaration»). *ReliefWeb* : веб-сайт. URL: <https://reliefweb.int/report/ukraine/outcome-document-ukraine-recovery-conference-urc2022-lugano-declaration-lugano-4-5-july-2022> (дата звернення: 19.04.2026).

9. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України. *Київська школа економіки* : веб-сайт. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/KSE_Damages_Report-November-2024-UA.pdf (дата звернення: 11.02.2026).
10. Ukraine. Third Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3): February 2022 – December 2023. *The World Bank, Government of Ukraine, European Commission, United Nations*. 2024. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/02/15/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released> (дата звернення: 07.04.2026).
11. Про деякі питання здійснення оборонних та публічних закупівель товарів, робіт і послуг в умовах воєнного стану : Постанова Кабінету Міністрів України від 28 лют. 2022 р. № 169. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/169-2022-п#Text> (дата звернення: 16.02.2026).
12. Про затвердження особливостей здійснення публічних закупівель товарів, робіт і послуг для замовників, передбачених Законом України «Про публічні закупівлі», на період дії правового режиму воєнного стану в Україні та протягом 90 днів з дня його припинення або скасування : Постанова Кабінету Міністрів України від 12 жовт. 2022 р. № 1178. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1178-2022-п#Text> (дата звернення: 16.02.2026).
13. Публічні закупівлі-2023: чим жила і як змінювалася сфера. *Transparency International Ukraine* : веб-сайт. URL: <https://ti-ukraine.org/research/publicni-zakupivli-2023-chym-zhyly-i-yak-zminyuvalasya-sfera/> (дата звернення: 12.03.2026).
14. Незламне Запоріжжя: підтримка війська, непогана конкуренція на тендерах і потенційні переплати на будівництвах. *Dozorro* : веб-сайт. URL: <https://dozorro.org/blog/nezlamne-zaporizhzhya-pidtrimka-vijska-nepogana-konkurenciya-na-tenderah-i-potencijni-pereplati-na-budivnictvah> (дата звернення: 11.02.2026).

15. Коли на терезах швидкість і прозорість: яким був цей рік для публічних закупівель. *Dozorro* : веб-сайт. URL: <https://dozorro.org/blog/koli-na-terezah-shvidkist-i-prozorist-yakim-buv-cej-rik-dlya-publichnih-zakupivel> (дата звернення: 27.04.2026).
16. Рекомендація Ради ОЕСР щодо публічних закупівель. *OECD* : веб-сайт. URL: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0411> (дата звернення: 04.05.2026).
17. Олефір А. О. Публічні закупівлі в Україні: правові проблеми формування та розвитку. *Право і суспільство*. 2020. № 4. С. 89–96.
18. Посібник з КПЕ публічних закупівель. *Міністерство економіки України* : веб-сайт. URL: <https://me.gov.ua/view/cbd532ba-40db-4ac1-915e-38c2dff88741> (дата звернення: 20.02.2026). Декларація Люганської конференції з відновлення України (Ukraine Recovery Conference URC2022 «Lugano Declaration»).
19. Аналітичний блок. *BI Prozorro* : веб-сайт. URL: <https://bi.prozorro.org/hub> (дата звернення: 20.02.2026).
20. Bajari P., McMillan R., Tadelis S. Auctions Versus Negotiations in Procurement: An Empirical Analysis. *Journal of Law, Economics, & Organization*. 2009. Vol. 25. № 2. P. 372–399.
21. Монастирський Г. Л., Копестинський Т. Й. Аналіз ефективності публічних закупівель в регіоні в умовах воєнного стану. *Наукові перспективи*. 2024. № 3(45).
22. McAfee R. P., McMillan J. Auctions and Bidding. *Journal of Economic Literature*. 1987. Vol. 25. № 2. P. 699–738.
23. Klemperer P. What Really Matters in Auction Design. *Journal of Economic Perspectives*. 2002. Vol. 16. № 1. P. 169–189.
24. Bajari P., McMillan R., Tadelis S. Auctions Versus Negotiations in Procurement: An Empirical Analysis. *Journal of Law, Economics, & Organization*. 2009. Vol. 25. № 2. P. 372–399.

25. Coviello D., Mariniello M. Publicity Requirements in Public Procurement: Evidence from a Regression Discontinuity Design. *Journal of Public Economics*. 2014. Vol. 109. P. 76–100.
26. Lewis G., Bajari P. Procurement Contracting with Time Incentives: Theory and Evidence. *Quarterly Journal of Economics*. 2011. Vol. 126. № 3. P. 1173–1211.
27. Public Procurement Service (PPS). KONEPS — Korea ON-line E-Procurement System : official website. URL: <https://pps.go.kr/eng/content.do?key=00777> (дата звернення: 20.03.2026).
28. Tenders Electronic Daily (TED) — Supplement to the Official Journal of the European Union : веб-сайт. URL: <https://ted.europa.eu/> (дата звернення: 20.03.2026).
29. Wooldridge J. M. *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. 7th ed. Mason : South-Western, 2020. 789 p.
30. Chow G. C. Tests of Equality Between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions. *Econometrica*. 1960. Vol. 28. № 3. P. 591–605.

ДОДАТКИ

Додаток А

Програмний код для розрахунку економетричних моделей засобами мови Python

```
import numpy as np

import pandas as pd

import statsmodels.api as sm

import matplotlib.pyplot as plt

import seaborn as sns

import warnings

warnings.filterwarnings('ignore')

from statsmodels.stats.diagnostic import het_breuschpagan, het_white, linear_reset

from statsmodels.stats.stattools import jarque_bera, durbin_watson

from statsmodels.stats.outliers_influence import variance_inflation_factor

plt.rcParams.update({

    'figure.dpi': 120,

    'font.size': 11,

    'axes.titlesize': 13,

    'axes.labelsize': 11,

    'xtick.labelsize': 10,

    'ytick.labelsize': 10,

    'legend.fontsize': 10,

})

SEG_COLORS = {

    'Нижній': '#185FA5',
```

```

    'Середній': '#1D9E75',

    'Верхній': '#D85A30',

}

SCENARIO_COLORS = {

    'Песимістичний': '#D85A30',

    'Базовий': '#1D9E75',

    'Оптимістичний': '#185FA5',

}

df = pd.read_excel('prozorro_dataset_1.xlsx', sheet_name='prozorro_dataset')

df = df[df['expected_value'] > 0].copy()

df = df[(df['efficiency'] >= -0.50) & (df['efficiency'] <= 1.00)].copy()

print(f'Розмір вибірки після очищення: {len(df):,} тендерів')

THRESHOLD_LOW = 1_000_000

THRESHOLD_MED = 5_000_000

def assign_segment(value):

    if value <= THRESHOLD_LOW:

        return 'Нижній'

    if value <= THRESHOLD_MED:

        return 'Середній'

    return 'Верхній'

df['segment'] = df['expected_value'].apply(assign_segment)

df['num_bidders_sq'] = df['num_bidders'] ** 2

df['log_expected_value'] = np.log(df['expected_value'])

df['bidders_x_logval'] = df['num_bidders'] * df['log_expected_value']

low = df[df['segment'] == 'Нижній'].copy()

mid = df[df['segment'] == 'Середній'].copy()

```

```

high = df[df['segment'] == 'Верхній'].copy()

segments = {'Нижній': low, 'Середній': mid, 'Верхній': high}

for name, seg_df in segments.items():

    share = len(seg_df) / len(df) * 100

    print(f' {name:<10} N={len(seg_df):>5,} ({share:5.1f}%) '

          f'середня ефективність={seg_df[\"efficiency\"].mean() * 100:5.2f}%')

DESC_COLS = ['efficiency', 'expected_value', 'num_bidders', 'lot_duration_days',

             'num_disqualifications', 'num_questions', 'num_demands']

DESC_NAMES = {

    'efficiency':    'Ефективність (RSR)',

    'expected_value': 'Очікувана вартість, грн',

    'num_bidders':   'Кількість учасників',

    'lot_duration_days': 'Тривалість лота, днів',

    'num_disqualifications': 'Кількість дискваліфікацій',

    'num_questions':  'Кількість запитань',

    'num_demands':    'Кількість вимог',

}

def describe_segment(data, label):

    table = data[DESC_COLS].describe().T

    table.columns = ['Кількість', 'Середнє', 'Станд.відх.',

                    'Мінімум', 'Q1', 'Медіана', 'Q3', 'Максимум']

    table.index = [DESC_NAMES.get(c, c) for c in table.index]

    print(f'\n--- {label} (N={len(data):,}) ---')

    print(table.round(3).to_string())

    return table

describe_segment(df, 'Уся вибірка')
```

```

for name, seg_df in segments.items():

    describe_segment(seg_df, f'Сегмент: {name}')

BASE_COLS = [

    'num_bidders', 'num_bidders_sq',

    'log_expected_value', 'bidders_x_logval',

    'lot_duration_days', 'num_disqualifications',

    'num_questions', 'num_demands',

]

# Гістограми RSR по сегментах

fig, axes = plt.subplots(1, 3, figsize=(16, 5))

for ax, (name, seg_df) in zip(axes, segments.items()):

    ax.hist(seg_df['efficiency'], bins=40, color=SEG_COLORS[name],

            alpha=0.85, edgecolor='white', linewidth=0.5)

    ax.vline(seg_df['efficiency'].mean(), color='black',

            linestyle='--', linewidth=1.2,

            label=f'Середнє = {seg_df["efficiency"].mean() * 100:.1f}%')

    ax.set_title(f'{name} сегмент (N={len(seg_df):,})', fontsize=11)

    ax.set_xlabel('Ефективність (RSR)')

    ax.set_ylabel('Кількість тендерів')

    ax.legend(loc='upper right', fontsize=9)

    ax.grid(axis='y', linestyle=':', alpha=0.4)

plt.suptitle('Розподіл показника відносної фінансової економії по сегментах', fontsize=13)

plt.tight_layout()

plt.savefig('fig_hist_segments.png', bbox_inches='tight')

plt.show()

fig, axes = plt.subplots(1, 3, figsize=(16, 5.5), sharey=True)

for ax, (name, seg_df) in zip(axes, segments.items()):

```

```

ax.scatter(seg_df['num_bidders'], seg_df['efficiency'],

           alpha=0.25, s=14, color=SEG_COLORS[name])

means = seg_df.groupby('num_bidders')['efficiency'].mean()

counts = seg_df.groupby('num_bidders').size()

means_filt = means[counts >= 10]

ax.plot(means_filt.index, means_filt.values, color='black',

        linewidth=2, marker='o', markersize=5, label='Середнє по групі')

ax.set_title(f'{name} сегмент', fontsize=11)

ax.set_xlabel('Кількість учасників')

ax.set_ylabel('Ефективність (RSR)')

ax.legend(loc='upper right', fontsize=9)

ax.grid(linestyle=':', alpha=0.4)

ax.set_xticks(range(2, min(int(seg_df['num_bidders'].max()) + 1, 16)))

plt.suptitle('Залежність ефективності від кількості учасників по сегментах', fontsize=13)

plt.tight_layout()

plt.savefig('fig_scatter_segments.png', bbox_inches='tight')

plt.show()

CORR_COLS = ['efficiency', 'num_bidders', 'num_bidders_sq',

             'log_expected_value', 'bidders_x_logval',

             'lot_duration_days', 'num_disqualifications',

             'num_questions', 'num_demands']

CORR_LABELS = {

    'efficiency':      'RSR',

    'num_bidders':     'Учасники',

    'num_bidders_sq':  'Учасники2',

    'log_expected_value': 'ln(Вартість)',

    'bidders_x_logval': 'Учасн.×ln(Варт.)',

```

```

'lot_duration_days': 'Тривалість',

'num_disqualifications': 'Дискваліф.',

'num_questions': 'Запитання',

'num_demands': 'Вимоги',

}

for name, seg_df in segments.items():

    corr = seg_df[ CORR_COLS ].corr()

    corr.index = [ CORR_LABELS.get(c, c) for c in corr.index ]

    corr.columns = [ CORR_LABELS.get(c, c) for c in corr.columns ]

    mask = np.triu(np.ones_like(corr, dtype=bool))

    fig, ax = plt.subplots(figsize=(9, 7))

    sns.heatmap(corr, mask=mask, annot=True, fmt='.2f',

                cmap='coolwarm', vmin=-1, vmax=1,

                linewidths=0.5, linecolor='white',

                cbar_kws={'shrink': 0.85, 'label': 'Коефіцієнт кореляції'},

                annot_kws={'size': 10}, ax=ax)

    ax.set_title(f'Матриця парних кореляцій Пірсона — {name} сегмент',

                fontsize=12, pad=12)

    plt.xticks(rotation=35, ha='right')

    plt.yticks(rotation=0)

    plt.tight_layout()

    plt.savefig(f'fig_corr_{name.lower()}.png', bbox_inches='tight')

    plt.show()

VAR_LABELS = {

    'const': 'Константа ( $\beta_0$ )',

    'num_bidders': 'Учасники ( $\beta_1$ )',

    'num_bidders_sq': 'Учасники2 ( $\beta_2$ )',

```

```

'log_expected_value': 'ln(Вартість) ( $\beta_3$ )',

'bidders_x_logval': 'Взаємодія ( $\beta_4$ )',

'lot_duration_days': 'Тривалість ( $\beta_5$ )',

'num_disqualifications': 'Дискваліфікації ( $\beta_6$ )',

'num_questions': 'Запитання ( $\beta_7$ )',

'num_demands': 'Вимоги ( $\beta_8$ )',

}

models = {}

models_plain = {}

for name, seg_df in segments.items():

    y = seg_df['efficiency']

    X = sm.add_constant(seg_df[BASE_COLS])

    models_plain[name] = sm.OLS(y, X).fit()

    models[name] = sm.OLS(y, X).fit(cov_type='HC3')

    m = models[name]

    print(f'\n--- {name} сегмент N={len(seg_df):,} ---')

    print(f'R² = {m.rsquared:.4f} Adj.R² = {m.rsquared_adj:.4f} F = {m.fvalue:.2f}')

    print(m.summary().tables[1])

READABLE = {

    'num_bidders': 'Кількість учасників ( $x_1$ )',

    'num_bidders_sq': 'Учасники у квадраті ( $x_1^2$ )',

    'log_expected_value': 'Логарифм вартості ln( $x_2$ )',

    'bidders_x_logval': 'Взаємодія  $x_1 \times \ln(x_2)$ ',

    'lot_duration_days': 'Тривалість лота ( $x_3$ )',

    'num_disqualifications': 'Кількість дискваліфікацій ( $x_4$ )',

    'num_questions': 'Кількість запитань ( $x_5$ )',

```

```

'num_demands':      'Кількість вимог (x6)',

}

from matplotlib.patches import Patch

for name, m in models.items():

    ci = m.conf_int(alpha=0.05)

    coefs = m.params.drop('const')

    lower = ci[0].drop('const')

    upper = ci[1].drop('const')

    pvals = m.pvalues.drop('const')

    labels = [READABLE.get(v, v) for v in coefs.index]

    colors = ['#185FA5' if p < 0.05 else '#B4B2A9' for p in pvals]

    fig, ax = plt.subplots(figsize=(11, 6))

    y_pos = np.arange(len(coefs))

    ax.barh(y_pos, coefs.values, color=colors, alpha=0.8, height=0.55)

    ax.errorbar(coefs.values, y_pos,

                xerr=[coefs.values - lower.values, upper.values - coefs.values],

                fmt='none', color='#3C3489', elinewidth=1.5, capsize=4)

    ax.axvline(0, color='#E24B4A', linestyle='--', linewidth=1.2, alpha=0.8)

    ax.set_yticks(y_pos)

    ax.set_yticklabels(labels, fontsize=10)

    ax.set_xlabel('Значення коефіцієнта')

    ax.set_title(f'Оцінка впливу факторів — {name} сегмент ')

    f'(R² = {m.rsquared:.3f}, N = {int(m.nobs):,})',

    fontsize=12, pad=10)

    ax.grid(axis='x', linestyle=':', alpha=0.5)

    ax.legend(

        handles=[

```

```

Patch(facecolor='#185FA5', alpha=0.8, label='Значущий (p < 0,05)'),

Patch(facecolor='#B4B2A9', alpha=0.8, label='Незначущий'),

],

loc='lower right', fontsize=9,

)

plt.tight_layout()

plt.savefig(f'fig_coef_{name.lower()}.png', bbox_inches='tight')

plt.show()

VIF_COLS = ['num_bidders', 'log_expected_value', 'lot_duration_days',

            'num_disqualifications', 'num_questions', 'num_demands']

diag_rows = []

for name, seg_df in segments.items():

    m_plain = models_plain[name]

    m_rob = models[name]

    resid = m_plain.resid

    X_full = sm.add_constant(seg_df[BASE_COLS])

    X_vif = seg_df[VIF_COLS].values

    print(f'\n--- VIF для {name} сегмента ---')

    for i, c in enumerate(VIF_COLS):

        vif_val = variance_inflation_factor(X_vif, i)

        print(f' {DESC_NAMES.get(c, c):<28} VIF = {vif_val:.2f}')

    bp = het_breuschpagan(resid, X_full)

    white = het_white(resid, X_full)

    jb = jarque_bera(resid)

    reset = linear_reset(m_plain, power=2, use_f=True)

    dw = durbin_watson(resid)

    cooks = m_plain.get_influence().cooks_distance[0]

```

```

diag_rows.append({

    'Сегмент':      name,

    'N':            len(seg_df),

    'R²':           round(m_rob.rsquared, 4),

    'Adj.R²':       round(m_rob.rsquared_adj, 4),

    'F-стат. (HC3)': round(m_rob.fvalue, 2),

    'Breusch-Pagan p': round(bp[1], 4),

    'White p':      round(white[1], 4),

    'Jarque-Bera p': round(jb[1], 6),

    'RESET p':      round(reset.pvalue, 4),

    'Durbin-Watson': round(dw, 3),

    'Макс. відстань Кука': round(np.max(cooks), 4),

})

diag_df = pd.DataFrame(diag_rows).set_index('Сегмент')

print("\n--- Зведена діагностична таблиця ---")

print(diag_df.T.to_string())

from scipy import stats

y_all = df['efficiency']

X_all = sm.add_constant(df[BASE_COLS])

m_pooled = sm.OLS(y_all, X_all).fit()

rss_pooled = (m_pooled.resid ** 2).sum()

rss_seg = sum((models_plain[n].resid ** 2).sum() for n in segments)

k = len(BASE_COLS) + 1

g = len(segments)

n = len(df)

df1 = (g - 1) * k

df2 = n - g * k

```

```

F_chow = ((rss_pooled - rss_seg) / df1) / (rss_seg / df2)

p_chow = 1 - stats.f.cdf(F_chow, df1, df2)

F_crit = stats.f.ppf(0.95, df1, df2)

print(f'Тест Чоу: F = {F_chow:.2f}, F_крит = {F_crit:.3f}, p = {p_chow:.2e}')

print(f'Висновок: сегментація {"виправдана" if p_chow < 0.05 else "не виправдана"}')

seg_medians = {}

for name, seg_df in segments.items():

    seg_medians[name] = {

        'num_bidders':      seg_df['num_bidders'].median(),

        'log_expected_value': seg_df['log_expected_value'].median(),

        'lot_duration_days': seg_df['lot_duration_days'].median(),

        'num_disqualifications': seg_df['num_disqualifications'].median(),

        'num_questions':    seg_df['num_questions'].median(),

        'num_demands':      seg_df['num_demands'].median(),

    }

optimal_bidders = {}

for name, m in models.items():

    b1 = m.params['num_bidders']

    b2 = m.params['num_bidders_sq']

    x_star = -b1 / (2 * b2) if b2 < 0 else 10.0

    optimal_bidders[name] = round(min(max(x_star, 1), 15), 1)

def build_scenario_params(name):

    med = seg_medians[name]

    x_opt = min(optimal_bidders[name], 8)

    return {

        'Песимістичний': {

            'num_bidders':      1.0,

```

```

'log_expected_value': med['log_expected_value'],

'lot_duration_days': med['lot_duration_days'] * 1.25,

'num_disqualifications': 2.0,

'num_questions': 0.0,

'num_demands': 2.0,

},

```

Базовий: {

```

'num_bidders': med['num_bidders'],

'log_expected_value': med['log_expected_value'],

'lot_duration_days': med['lot_duration_days'],

'num_disqualifications': med['num_disqualifications'],

'num_questions': med['num_questions'],

'num_demands': med['num_demands'],

},

```

Оптимістичний: {

```

'num_bidders': x_opt,

'log_expected_value': med['log_expected_value'],

'lot_duration_days': med['lot_duration_days'] * 0.82,

'num_disqualifications': 0.0,

'num_questions': med['num_questions'] * 1.5,

'num_demands': 0.0,

},

}

```

```
scenario_params = {name: build_scenario_params(name) for name in segments}
```

```
def predict_efficiency(model, params):
```

```
    p = params.copy()
```

```
    p['num_bidders_sq'] = p['num_bidders'] ** 2
```

```

p['bidders_x_logval'] = p['num_bidders'] * p['log_expected_value']

X_new = pd.DataFrame([p])[BASE_COLS]

X_new = sm.add_constant(X_new, has_constant='add')

return float(model.predict(X_new)[0])

pred_rows = []

for name in ['Нижній', 'Середній', 'Верхній']:

    m = models[name]

    for scen in ['Песимістичний', 'Базовий', 'Оптимістичний']:

        pred = predict_efficiency(m, scenario_params[name][scen])

        pred_rows.append({

            'Сегмент':    name,

            'Сценарій':   scen,

            'Прогноз RSR': round(pred, 4),

            'Прогноз RSR, %': round(pred * 100, 2),

        })

pred_df = pd.DataFrame(pred_rows)

base_vals = pred_df[pred_df['Сценарій'] == 'Базовий'].set_index('Сегмент')['Прогноз RSR']

pred_df['Δ до базового, в.п.'] = pred_df.apply(

    lambda r: round(((r['Прогноз RSR'] - base_vals[r['Сегмент']]) * 100, 2),

    axis=1

)

print("\n--- Зведена таблиця прогнозів ----")

print(pred_df.to_string(index=False))

bidder_range = np.arange(1, 16)

marginal_rows = []

for name in ['Нижній', 'Середній', 'Верхній']:

```

```

m = models[name]

med = seg_medians[name]

for nb in bidder_range:

    params = {

        'num_bidders':      nb,

        'log_expected_value': med['log_expected_value'],

        'lot_duration_days': med['lot_duration_days'],

        'num_disqualifications': med['num_disqualifications'],

        'num_questions':    med['num_questions'],

        'num_demands':      med['num_demands'],

    }

    pred = predict_efficiency(m, params)

    marginal_rows.append({

        'Сегмент':      name,

        'num_bidders': nb,

        'RSR_pred_pct': pred * 100,

    })

marginal_df = pd.DataFrame(marginal_rows)

SENSITIVITY_VARS = [

    'num_bidders',

    'lot_duration_days',

    'num_questions',

    'num_demands',

    'num_disqualifications',

]

SENS_LABELS = {

    'num_bidders':      'Кількість учасників',

```

```

'lot_duration_days': 'Тривалість лота',

'num_questions': 'Кількість запитань',

'num_demands': 'Кількість вимог',

'num_disqualifications': 'Кількість дискваліфікацій',

}

sens_rows = []

for name in ['Нижній', 'Середній', 'Верхній']:

    m = models[name]

    med = seg_medians[name]

    seg_df = segments[name]

    base_params = {

        'num_bidders': med['num_bidders'],

        'log_expected_value': med['log_expected_value'],

        'lot_duration_days': med['lot_duration_days'],

        'num_disqualifications': med['num_disqualifications'],

        'num_questions': med['num_questions'],

        'num_demands': med['num_demands'],

    }

    base_pred = predict_efficiency(m, base_params)

    for var in SENSITIVITY_VARS:

        std_val = seg_df[var].std()

        if std_val == 0:

            continue

        p_up = base_params.copy()

        p_up[var] = max(base_params[var] + std_val, 0)

        pred_up = predict_efficiency(m, p_up)

        p_dn = base_params.copy()

```

```

p_dn[var] = max(base_params[var] - std_val, 0)

pred_dn = predict_efficiency(m, p_dn)

delta_up = (pred_up - base_pred) * 100

delta_dn = (pred_dn - base_pred) * 100

sens_rows.append({

    'Сегмент': name,

    'Фактор': SENS_LABELS[var],

    'delta_up': round(delta_up, 3),

    'delta_dn': round(delta_dn, 3),

    'swing': round(abs(delta_up - delta_dn), 3),

})

sens_df = pd.DataFrame(sens_rows)

stress_rows = []

for name in ['Нижній', 'Середній', 'Верхній']:

    m = models[name]

    med = seg_medians[name]

    seg_df = segments[name]

    region_bidders = {

        'Безпечний': seg_df['num_bidders'].quantile(0.75),

        'Середній': seg_df['num_bidders'].median(),

        'Прифронтовий': 1.5,

    }

    safe_pred = None

    for reg_name, nb in region_bidders.items():

        params = {

            'num_bidders': nb,

```

```

        'log_expected_value': med['log_expected_value'],

        'lot_duration_days': med['lot_duration_days'],

        'num_disqualifications': med['num_disqualifications'],

        'num_questions': med['num_questions'],

        'num_demands': med['num_demands'],

    }

    pred = predict_efficiency(m, params)

    if reg_name == 'Безпечний':

        safe_pred = pred

    loss = (pred - safe_pred) * 100

    stress_rows.append({

        'Сегмент': name,

        'Регіональний профіль': reg_name,

        'Учасники': round(nb, 1),

        'RSR прогноз, %': round(pred * 100, 2),

        'Втрати vs безпечний, в.п.': round(loss, 2),

    })

stress_df = pd.DataFrame(stress_rows)

print("\n--- Стрес-тест регіональної асиметрії ---")

print(stress_df.to_string(index=False))

fig, ax = plt.subplots(figsize=(13, 6))

scenarios = ['Песимістичний', 'Базовий', 'Оптимістичний']

seg_list = ['Нижній', 'Середній', 'Верхній']

bar_width = 0.22

group_gap = 0.15

```

```

positions = {}

for i, scen in enumerate(scenarios):

    positions[scen] = np.arange(len(seg_list)) * (len(scenarios) * bar_width + group_gap) + i * bar_width

for scen in scenarios:

    vals = [pred_df[(pred_df['Сегмент'] == s) & (pred_df['Сценарій'] == scen)

                ]['Прогноз RSR, %'].values[0] for s in seg_list]

    ax.bar(positions[scen], vals, width=bar_width,

           color=SCENARIO_COLORS[scen], alpha=0.85, label=scen, zorder=3)

    for pos, val in zip(positions[scen], vals):

        ax.text(pos, val + 0.15, f'{val:.1f}%',

               ha='center', va='bottom', fontsize=9)

group_centers = np.arange(len(seg_list)) * (len(scenarios) * bar_width + group_gap) + bar_width

ax.set_xticks(group_centers)

ax.set_xticklabels(seg_list, fontsize=11)

ax.set_ylabel('Прогнозна ефективність RSR, %')

ax.set_title('Сценарні прогнози ефективності закупівель по сегментах', fontsize=12, pad=10)

ax.legend(title='Сценарій', loc='upper right')

ax.grid(axis='y', linestyle=':', alpha=0.5, zorder=0)

ax.set_ylim(0, pred_df['Прогноз RSR, %'].max() * 1.25)

plt.tight_layout()

plt.savefig('fig_3_1_scenarios.png', bbox_inches='tight')

plt.show()

fig, axes = plt.subplots(1, 3, figsize=(16, 5.5))

for ax, name in zip(axes, seg_list):

    sdf = marginal_df[marginal_df['Сегмент'] == name]

    ax.plot(sdf['num_bidders'], sdf['RSR_pred_pct'],

           color=SEG_COLORS[name], linewidth=2.2,

```

```

        marker='o', markersize=5, zorder=3)

target = min(optimal_bidders[name], 8)

y_target = sdf[sdf['num_bidders'] == round(target)]['RSR_pred_pct']

if not y_target.empty:

    ax.axvline(target, color='#D85A30', linestyle='--', linewidth=1.4, alpha=0.8,

        label=f'Цільовий рівень = {int(target)}')

    ax.scatter([target], [y_target.values[0]],

        color='#D85A30', s=70, zorder=5)

y_pes = sdf[sdf['num_bidders'] == 1]['RSR_pred_pct'].values[0]

ax.scatter([1], [y_pes], color='#B4B2A9', s=60, zorder=4,

    label='Песимістичний (1 уч.)')

ax.set_title(f'{name} сегмент', fontsize=11)

ax.set_xlabel('Кількість учасників')

ax.set_ylabel('RSR, %')

ax.legend(fontsize=8, loc='lower right')

ax.grid(linestyle=':', alpha=0.4)

ax.set_xticks(range(1, 16))

plt.suptitle('Залежність RSR від кількості учасників при медіанних інших факторах',

    fontsize=12, y=1.01)

plt.tight_layout()

plt.savefig('fig_3_2_marginal.png', bbox_inches='tight')

plt.show()

fig, axes = plt.subplots(1, 3, figsize=(16, 5.5))

for ax, name in zip(axes, seg_list):

    sdf = sens_df[sens_df['Сегмент'] == name].sort_values('swing', ascending=True)

    y_pos = np.arange(len(sdf))

    colors_up = ['#1D9E75' if v >= 0 else '#D85A30' for v in sdf['delta_up']]

```

```

colors_dn = ['#D85A30' if v < 0 else '#1D9E75' for v in sdf['delta_dn']]

ax.barh(y_pos,      sdf['delta_up'], color=colors_up, alpha=0.80,

        height=0.4, label='+1 SD', zorder=3)

ax.barh(y_pos - 0.42, sdf['delta_dn'], color=colors_dn, alpha=0.55,

        height=0.4, label='-1 SD', zorder=3)

ax.axvline(0, color='black', linewidth=0.9, zorder=4)

ax.set_yticks(y_pos - 0.21)

ax.set_yticklabels(sdf['Фактор'], fontsize=9)

ax.set_xlabel('Зміна RSR, в.п.')

ax.set_title(f'{name} сегмент', fontsize=11)

ax.grid(axis='x', linestyle=':', alpha=0.4, zorder=0)

ax.legend(fontsize=8, loc='lower right')

plt.suptitle('Аналіз чутливості RSR до зміни факторів на  $\pm 1$  стандартне відхилення',

            fontsize=12, y=1.01)

plt.tight_layout()

plt.savefig('fig_3_3_sensitivity.png', bbox_inches='tight')

plt.show()

REGION_COLORS = {

    'Безпечний': '#185FA5',

    'Середній': '#1D9E75',

    'Прифронтовий': '#D85A30',

}

region_list = ['Безпечний', 'Середній', 'Прифронтовий']

bar_width_s = 0.22

group_gap_s = 0.15

positions_r = {}

for i, reg in enumerate(region_list):

```

```

positions_r[reg] = np.arange(len(seg_list)) * (len(region_list) * bar_width_s + group_gap_s) + i * bar_width_s

fig, ax = plt.subplots(figsize=(13, 6))

for reg in region_list:

    vals = [stress_df[(stress_df['Сегмент'] == s) &

                    (stress_df['Регіональний профіль'] == reg)

                    ]['RSR прогноз, %'].values[0] for s in seg_list]

    ax.bar(positions_r[reg], vals, width=bar_width_s,

           color=REGION_COLORS[reg], alpha=0.85, label=reg, zorder=3)

    for pos, val in zip(positions_r[reg], vals):

        ax.text(pos, val + 0.12, f'{val:.1f}%',

               ha='center', va='bottom', fontsize=9)

group_centers_r = np.arange(len(seg_list)) * (len(region_list) * bar_width_s + group_gap_s) + bar_width_s

ax.set_xticks(group_centers_r)

ax.set_xticklabels(seg_list, fontsize=11)

ax.set_ylabel('Прогнозна ефективність RSR, %')

ax.set_title('Стрес-тест: прогнозна ефективність за регіональними профілями', fontsize=12, pad=10)

ax.legend(title='Регіональний профіль', loc='upper right')

ax.grid(axis='y', linestyle=':', alpha=0.5, zorder=0)

ax.set_ylim(0, stress_df['RSR прогноз, %'].max() * 1.25)

plt.tight_layout()

plt.savefig('fig_3_4_stress_test.png', bbox_inches='tight')

plt.show()

scen_params_ci = {

    'Нижній': {'Песимістичний': (1, 32.5, 2, 0, 2),

               'Базовий':      (2, 26.0, 0, 0, 0),

               'Оптимістичний': (8, 21.3, 0, 0, 0)},

```

```

    'Середній': {'Песимістичний': (1, 36.2, 2, 0, 2),

    'Базовий':    (2, 29.0, 0, 0, 0),

    'Оптимістичний': (8, 23.8, 0, 0, 0)},

    'Верхній': {'Песимістичний': (1, 43.8, 2, 0, 2),

    'Базовий':    (2, 35.0, 0, 0, 0),

    'Оптимістичний': (8, 28.7, 0, 0, 0)},

}

ci_results = []

for name in ['Нижній', 'Середній', 'Верхній']:

    m = models[name]

    mv = segments[name]['expected_value'].median()

    lv = np.log(mv)

    for scen, (nb, dur, disq, q, dem) in scen_params_ci[name].items():

        X_new = pd.DataFrame({

            'const':          [1],

            'num_bidders':     [nb],

            'num_bidders_sq':  [nb ** 2],

            'log_expected_value': [lv],

            'bidders_x_logval': [nb * lv],

            'lot_duration_days': [dur],

            'num_disqualifications': [disq],

            'num_questions':    [q],

            'num_demands':      [dem],

        })

        summary = m.get_prediction(X_new).summary_frame(alpha=0.05)

        ci_results.append({

            'Сегмент': name,

```

```

'Сценарій': scen,

'mean': summary['mean'].iloc[0] * 100,

'lo': summary['mean_ci_lower'].iloc[0] * 100,

'hi': summary['mean_ci_upper'].iloc[0] * 100,

})

ci_df = pd.DataFrame(ci_results)

fig, axes = plt.subplots(1, 3, figsize=(16, 5.5), sharey=True)

scen_order = ['Песимістичний', 'Базовий', 'Оптимістичний']

for ax, name in zip(axes, ['Нижній', 'Середній', 'Верхній']):

    sub = ci_df[ci_df['Сегмент'] == name].set_index('Сценарій').loc[scen_order]

    x = np.arange(len(scen_order))

    err = [sub['mean'] - sub['lo'], sub['hi'] - sub['mean']]

    ax.bar(x, sub['mean'], color=SEG_COLORS[name], alpha=0.85, width=0.55)

    ax.errorbar(x, sub['mean'], yerr=err, fmt='none',

                color='#222222', elinewidth=1.5, capsize=6)

    for i, (mn, hi) in enumerate(zip(sub['mean'], sub['hi'])):

        ax.annotate(f'{mn:.1f}%', (i, hi), textcoords='offset points',

                    xytext=(0, 6), ha='center', fontsize=9)

    ax.set_title(f'{name} сегмент', fontsize=11)

    ax.set_xticks(x)

    ax.set_xticklabels(scen_order, fontsize=9)

    ax.set_ylabel('Прогноз RSR, %')

    ax.grid(axis='y', linestyle=':', alpha=0.5)

plt.suptitle('Точкові прогнози з 95% довірчими інтервалами', fontsize=12)

plt.tight_layout()

plt.savefig('fig_3_5_confidence.png', bbox_inches='tight')

plt.show()

```

```

def predict_simple(model, nb, mv, dur):

    b = model.params

    lv = np.log(mv)

    return (b['const']

            + b['num_bidders'] * nb

            + b['num_bidders_sq'] * nb ** 2

            + b['log_expected_value'] * lv

            + b['bidders_x_logval'] * (nb * lv)

            + b['lot_duration_days'] * dur) * 100

bidders_range = [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]

dur_range = [14, 21, 30, 45, 60]

med_val = {n: segments[n]['expected_value'].median() for n in segments}

fig, axes = plt.subplots(1, 3, figsize=(17, 5.5))

for ax, name in zip(axes, ['Нижній', 'Середній', 'Верхній']):

    grid = np.zeros((len(bidders_range), len(dur_range)))

    for i, nb in enumerate(bidders_range):

        for j, d in enumerate(dur_range):

            grid[i, j] = predict_simple(models[name], nb, med_val[name], d)

    im = ax.imshow(grid, cmap='RdYlGn', aspect='auto', origin='lower')

    ax.set_xticks(range(len(dur_range)))

    ax.set_xticklabels(dur_range)

    ax.set_yticks(range(len(bidders_range)))

    ax.set_yticklabels(bidders_range)

    ax.set_xlabel('Тривалість лота, днів')

    ax.set_ylabel('Кількість учасників')

    ax.set_title(f'{name} сегмент', fontsize=11)

    for i in range(len(bidders_range)):

```

```

for j in range(len(dur_range)):

    ax.text(j, i, f'{grid[i, j]:.0f}', ha='center', va='center',

            fontsize=9, color='black')

plt.colorbar(im, ax=ax, shrink=0.8, label='RSR, %')

plt.suptitle('Прогнозна ефективність за комбінацією конкуренції та тривалості',

            fontsize=12)

plt.tight_layout()

plt.savefig('fig_3_6_heatmap.png', bbox_inches='tight')

plt.show()

```