

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЕКОНОМІЧНА АНАЛІТИКА. АСПЕКТИ
ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ**

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

Чернігів 2018

УДК 330.4
Е45

Рекомендовано до друку вченою радою Чернігівського національного технологічного університету (протокол №8 від 30 серпня 2018р.).

Рецензенти:

О. І. Гонта, професор, доктор економічних наук

ISBN 978-617-7571-55-0

Е45

Економічна аналітика. Аспекти практичного застосування: колективна монографія / за редакцією А. М. Акименка. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – 92 с.

Монографія присвячена питанням практичного застосування методів та методології економічного аналізу при формуванні стратегії розвитку підприємства. Економічний аналіз сприяє підвищенню ефективності діяльності підприємств, найбільш раціональному та ефективному використанню основних фондів, матеріальних, трудових і фінансових ресурсів.

ISBN 978-617-7571-55-0

УДК 330.4

© Чернігівський національний технологічний університет, 2018

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Акименко А.М., Бивойно Т.П. Моделі бізнес-процесів.....	6
Міщенко М.В. Обчислювальна економіка, опис числових методів.....	32
Дрозд О.П., Сподаренко І.Й. Аспекти аналізу ефективності використання системи дистанційних онлайн-курсів	41
Юрченко М.Є., Шаховніна Н.В. Оберені задачі в економіці: нові методи розв'язання.....	57
Балюнов О.О. Один з підходів до аналізу інвестиційного клімату України на основі ретроспективного методу.....	71
Синенко М.А. Аналіз моделей ціноутворення в умовах олігополії.....	82

ВСТУП

Ухвалення оптимальних управлінських рішень неможливе без попереднього проведення всебічного, глибокого економічного аналізу діяльності організації.

Результати економічного аналізу використовуються при формуванні стратегії розвитку підприємства. Показники бізнес-плану визначаються виходячи з фактично досягнутих показників, що були проаналізовані з метою їх поліпшення. Це ж стосується і нормування. Норми і нормативи визначаються на підставі раніше діючих, що були проаналізовані. Отже, економічний аналіз господарської діяльності сприяє встановленню обґрунтованих величин планових показників і нормативів.

Економічний аналіз сприяє підвищенню ефективності діяльності підприємств, найбільш раціональному та ефективному використанню основних фондів, матеріальних, трудових і фінансових ресурсів. Непорушним законом господарювання є досягнення найбільших результатів при найменших витратах. Використання методів економічної аналітики дозволяє, шляхом усунення причин зайвих витрат, досягнути найбільших результатів і, отже, максимізувати прибуток.

Економічний аналіз дозволяє встановити наявність або відсутність на підприємстві фінансової скрути, виявити їх причини і намітити заходи щодо усунення цих причин. Аналітичний підхід до вирішення проблем дає можливість констатувати ступінь платоспроможності і ліквідності організації та прогнозувати можливе банкрутство організації в майбутньому. При аналізі фінансових результатів діяльності організації є можливість встановити причини збитків, намітити шляхи усунення цих причин, розробити рекомендації по максимізації прибутку за рахунок використання виявлених резервів її зростання і намічаються шляхи їх використання.

Аналіз дозволяє на основі виявлення причинно-наслідкових зв'язків відтворити механізм функціонування та зміни будь-якого явища або процесу, тобто маємо можливість отримати досить повне уявлення про склад, структуру і механізм функціонування об'єкту або процесу.

Тому аналітична підготовка і виховання аналітичного мислення стають невід'ємною частиною формування професійних навичок та компетенцій фахівця будь-якого профілю і кваліфікації. Аналітичні навички, що формуються при вивченні теорії та методології аналізу, дозволяють оцінити спрямованість і інтенсивність взаємозв'язків між окремими процесами та їх характеристиками, виділити ключові причини змін і передбачати можливі загальні зміни, враховуючи динаміку і розвиток окремих їх характеристик.

Особливе значення аналітична підготовка має для фахівців, які готують матеріали для осіб, що приймають рішення. Аналітичне мислення особливо важливо для розвитку креативності будь-якого працівника, оскільки генерація нової ідеї повинна базуватися на глибокому вивченні ситуації, що склалася і розумінні умов її перетворення, зміни.

Аналіз економічних явищ і процесів базується на теоретико-методологічних положеннях, які розкривають сутність досліджуваних об'єктів, тобто безпосередньо пов'язаний з абстрактним поданням про досліджуваному об'єкті, що, з одного боку, значно розширює межі економічного аналізу, а з іншого - потребує більш глибоких доказів правильності напрямку і глибини деталізації, оскільки від цього залежатимуть обґрунтованість і достовірність виявленого взаємодії між елементами і можливість регулювання або управління відповідними процесами.

Економічний аналіз являє важливу частину управлінського процесу на всіх стадіях циклу – цілепокладання, розробки планів і програм, організації, що включає облік, контроль і координацію діяльності всіх учасників бізнес-процесів, розподілу, оцінки і мотивації. Він є важливою складовою процесу прийняття управлінських рішень. Як інструмент економічна аналітика використовується на всіх рівнях управління економікою.

Особливої уваги в монографії заслуговує взаємозв'язок економічного аналізу з економічною теорією як основою системи економічних наук в цілому. Економічна теорія дозволяє сформулювати загальноекономічне світогляд фахівця, зрозуміти загальні закономірності розвитку економіки, особливості організації та управління суб'єктами господарювання різних форм власності та спеціалізації, циклічний характер розвитку, виробити підхід до оцінок результативності та ефективності діяльності окремих суб'єктів господарювання, галузей і регіонів, економіки країни в цілому та виявити основні види внутрішньовиробничих, соціально-економічних та екологічних зв'язків. Однак економічна теорія, як правило, обмежується вивченням якісних характеристик, загальних тенденцій і закономірностей. В останні роки в економіці все більше місце займають дослідження, що стосуються напрямків розвитку окремих економічних процесів. В рамках економічного аналізу уточнюються характеристики основних економічних процесів та їх результатів, формується система взаємопов'язаних показників, вибираються методи їх оцінки та періодичність спостереження. Багато процесів подаються у формі прогнозних динамічних моделей.

Роль економічної аналітики, її практичного застосування в рамках суб'єктів господарювання, в монографії розглядається з двох позицій – управлінської, розглядаючи економічний аналіз як функцію управління, і інформаційної, пов'язаної з формуванням інформаційно-аналітичного забезпечення управління в цілому.

Питання теорії та методології економічного аналізу, його подальшого вдосконалення в Україні в умовах реформування економічних відносин постійно знаходяться в центрі уваги наукових досліджень як вітчизняних так і зарубіжних вчених.

Однак, слід зазначити, що практичні аспекти використання методологій економічного аналізу досі мало вивчені і, на жаль, залишаються поза полем наукових пошуків.

Акименко А.М.

к.ф.-м.н., доцент, професор кафедри інформаційних систем в економіці,
Чернігівський національний технологічний університет

Бивойно Т.П.

старший викладач кафедри інформаційних систем в економіці,
Чернігівський національний технологічний університет

МОДЕЛІ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ

Керування сучасною компанією – складна багатоаспектна діяльність, що базується на теорії та практиці в галузях менеджменту, інформаційних технологій, психології та ін. Ефективність організації залежить від правильного визначення цілей розвитку та вибору шляхів їх досягнення.

Сучасна теорія і практика управління бізнес-процесами має велику кількість різних підходів, методологій і методів, що дозволяють організувати діяльність компанії найбільш ефективним чином. Моделювання бізнес-процесів - один з важливих етапів даних робіт. Воно дозволяє більш наочно уявити процеси і їх складові компоненти, що істотно полегшує наступні дії, пов'язані з їх аналізом, оптимізацією і контролем виконання. Крім того, сьогодні існують технології, що дозволяють перетворити модель бізнес-процесу в реальний процес, що виконується за допомогою інформаційної системи.

Розглянемо загальні проблеми, що виникають в процесі моделювання бізнес-процесів, а також робіт, які виконуються в рамках удосконалення та підвищення ефективності діяльності організації.

Оцінка рівня зрілості управління бізнес-процесами

Систему управління будь-якою організацією можна представити у вигляді двох підсистем: керуючої і виконавчої. Взаємодія керуючої системи з виконавчою здійснюється шляхом керуючих впливів і передачі відомостей про результати управління. Управління сучасною організацією полягає у виконанні таких завдань, як цілепокладання, планування і контроль виконання планів, координація та інтеграція діяльності структурних одиниць, організація взаємодії як всередині компанії, так і з навколишнім середовищем, управління ресурсами підприємства (в тому числі і персоналом), а також організація і координація інноваційної діяльності, спрямованої на розвиток компанії [1].

Сьогодні багато компаній досі застосовують функціонально-орієнтований підхід [2-4] в управлінні організацією, хоча сучасні умови ведення бізнесу просто змушують багатьох з них переходити на процесне управління.

Якість управління організацією може оцінюватися шляхом аналізу зрілості управління її бізнес-процесами [3, 4]. Під зрілістю управління мається на увазі безперервний процес розвитку організації за допомогою постійного вдосконалення методології стратегічного управління і її інтегрування в загальну систему управління організацією.

Такий підхід дозволяє визначити сильні і слабкі сторони організації, оцінити якість реалізації, управління та контролю її бізнес-процесів.

Сьогодні існують різні моделі рівнів зрілості, але всі вони ґрунтуються

на еволюційному, послідовному розвитку організації. Кожен рівень зрілості створює базис для реалізації процесів на наступному рівні, тобто відбувається приріст методів та інструментів, що дозволяють більш ефективно виконувати і управляти бізнес-процесами.

Наведемо перелік моделей зрілості процесів [5], які найчастіше використовуються на практиці:

А) Модель «Business Process Management Maturity Model», що розроблена компанією «Gartner Inc.», являє собою шість стадій зрілості компанії з точки зору управління бізнес-процесами. Використання даної моделі дозволяє компанії зрозуміти її рівень зрілості і сформулювати корпоративну стратегію управління бізнес-процесами. Перелік рівнів моделі:

Рівень 0. «Визнання операційної неефективності». Це початкова стадія розвитку управління бізнес-процесами. На даному етапі з'являється розуміння того, що поліпшення в бізнесі неможливо досягти за допомогою традиційних методів.

Рівень 1. «Зацікавленість в процесах». На даному етапі організація знаходиться в пошуку методів поліпшення діяльності, починає приділяти увагу організації та управлінню бізнес-процесами, тобто вибудовувати систему управління процесами і визначати показники результативності їх виконання.

Рівень 2. «Локальне процесне управління та автоматизація». Компанія, яка перебуває на даному рівні, серйозно зацікавлена в управлінні бізнес-процесами, тому організовує їх регламентацію і контроль виконання, а деякі з них автоматизує.

Рівень 3. «Управління та автоматизація взаємодії між процесами». На даному рівні розширюються межі керованих процесів, здійснюється інтеграція їх між собою і з процесами партнерів і клієнтів.

Рівень 4. «Управління ланцюжком доданої вартості». На даному рівні перебувають організації, які вміють реалізовувати налаштування бізнес-процесів відповідно до стратегічних, тактичних і операційних цілей організації.

Рівень 5. «Динамічна бізнес-структура». Це вищий рівень зрілості управління бізнес-процесами, де компанія вміє оперативно адаптувати існуючі та створювати нові процеси відповідно до умов, що змінюються внутрішнім і зовнішнім середовищем бізнесу.

Б) Комплексна модель оцінювання зрілості процесів (Capability Maturity Model Integrated – СММІ). Призначена для ІТ-компаній, але є досить уніфікованою, що дозволяє використовувати її для оцінки використання організацією процесного управління.

Для оцінки рівня зрілості процесів організації в рамках СММІ пропонується використовувати шкалу з п'яти рівнів.

Рівень 1. «Початковий». На даному рівні перебувають організації, процеси в яких не ідентифіковані, погано контролюються.

Рівень 2. «Керований». На даному етапі процеси визначені в організації тільки на рівні проектів.

Рівень 3. «Визначений». В організації, що знаходиться на даному рівні зрілості процесного управління, визначені всі основні процеси (є моделі цих

процесів, їх життєві цикли).

Рівень 4. «Керований на основі кількісних даних». Здійснюється моніторинг, контроль і аналіз реалізації процесів за певними заздалегідь сформульованими критеріям, на підставі яких здійснюється подальша їх оптимізація.

Рівень 5. «Оптимізований». Компанії, які стосуються даного рівня зрілості, вміють управляти своїми бізнес-процесами, а результати аналізу їх реалізації дозволяють займатися їх вдосконаленням.

Бізнес-процес: характеристика і класифікація

В теорії і на практиці існує велика кількість визначень понять процес та бізнес-процес [6-9]. На наш погляд, під бізнес-процесом необхідно розуміти всі процеси, що реалізуються у межах діяльності компанії. Таким чином, компанія представляє сукупність процесів, що виконуються для досягнення її цілей та задач.

Характерними ознаками бізнес-процесів і їх структури є такі:

1) процес орієнтований на конкретного споживача, який є одержувачем продукції (послуги) – основного виходу процесу. Для цього необхідно знати очікування споживача, виражені описом продукції із зазначенням гарантованих показників якості;

2) вимоги споживача, представлені у вигляді певного набору характеристик, утворюють початок процесу - вхід в процес;

3) замовлення споживача запускає процес, а надання послуги (продукції) завершує його;

4) процес утворюється сукупністю взаємопов'язаних і завершених робіт - результати однієї роботи є початком іншої, утворюючи ланцюжок внутрішніх постачальників і споживачів. Таким чином, кожен учасник процесу є одночасно споживачем результатів роботи попереднього і постачальником для наступного за ним виконавця;

5) кожна з робіт зазвичай виконується окремими людьми або підрозділами; підрозділ може брати участь в декількох процесах;

6) процеси повторюються в часі.

Використання цього переліку характеристик дозволяє виявити і описати процеси, що реалізуються в межах діяльності організації. Його опис є розробкою моделі бізнес-процесу, яка включає в себе:

коротку характеристику процесу;

схему здійснення послідовності дій в рамках реалізації даного процесу;

критерії ефективності його виконання.

Рівневий опис бізнес-процесів організації.

При дослідженні бізнес-процесів організації, доцільно починати їх опис з верхнього рівня. При цьому ще на початковому етапі необхідно визначити ступінь їх подальшої деталізації. Зазвичай вона залежить від мети обстеження. Традиційно виділяють чотири основні рівні опису бізнес-процесів:

рівень підприємства;

рівень великих функціональних підрозділів;

рівень процесу;

рівень функцій (операцій) процесу.

На першому рівні (рівень підприємства) розглядаються основні процеси, що додають цінність продукції і послуг компанії. Даними процесами переважно керують керівники вищої ланки, генеральний директор і його заступники.

На рівні великих функціональних підрозділів також розглядаються основні процеси, але вже ті, які управляються керівниками департаментів, управлінь, дирекцій.

На третьому рівні (рівень процесів) здійснюється детальний розгляд процесів, які реалізуються конкретними підрозділами і відділами, наприклад, закупівля обладнання, пошук персоналу, управління складом. У невеликих організаціях, де ієрархія організаційних одиниць не глибока, процеси другого і третього рівня можуть бути об'єднані. При необхідності детального дослідження і опису бізнес-процесу третього рівня, його прийнято представляти у вигляді підпроцесів, функцій і операцій (дій, транзакцій). Назви об'єктів, на які він розбивається при деталізації, можуть відрізнятися.

На четвертому рівні здійснюється опис операційних процесів, тобто безпосереднє виконання посадових обов'язків співробітниками на своїх робочих місцях. Наприклад, реєстрація вхідних і вихідних листів, оформлення прийому на роботу, укладення договору на надання послуги технічної підтримки клієнта. В результаті вивчення процесів даного рівня можна детально описати послідовність дій співробітників компанії, які вони здійснюють в рамках реалізації бізнес-процесів. Після чого можна переходити до створення регламентів та інструкцій щодо виконання бізнес-процесів і їх операцій.

Дослідження бізнес-процесів організації

Для того щоб управляти бізнес-процесами, їх перш за все потрібно описати, так як неможливо ефективно управляти тим, про що не маєш детального уявлення [2, 6].

Обстеження бізнес-процесів організації здійснюється для формування цілісного уявлення про управління і виконання бізнес-процесів компанії, для визначення застосованих методів, засобів і ресурсів. Крім того, метою проведення обстеження бізнес-процесів може бути визначення переліку застосовуваних інформаційних систем і завдань, які вирішуються з їх допомогою. Важливим результатом обстеження також є виявлення вимоги, побажання та пропозиції, які виходять від безпосередніх виконавців бізнес-процесів, з приводу підвищення ефективності та якості реалізації процесів, організації інформаційної взаємодії між ними. Таким чином, можна сказати, що отримані результати дозволяють провести аналіз і розробити рекомендації щодо вдосконалення бізнес-процесів, наприклад:

- уточнити цілі організації і ключові показники ефективності діяльності її структурних підрозділів;
- оцінити обсяг і інтенсивність інформаційних потоків;
- виявити й описати проблемні області в організації та управлінні діяльністю компанії, визначити фактори що їх породжують;
- виявити функції структурних підрозділів організації, визначити

напрямки взаємодії між ними, інформаційні потоки всередині підрозділів і між ними, зовнішню інформаційну взаємодію;

- виробити рекомендації щодо впорядкування інформаційних потоків, в тому числі і документообігу;
- розробити нові або вдосконалити колишні бізнес-процеси, в тому числі і за допомогою впровадження інформаційних систем.

Дослідження бізнес-процесів обов'язково повинно супроводжуватися документуванням, так як воно дозволяє зафіксувати поточний стан процесів «як є». Надалі це дозволить на основі таких описів розробити регламенти, інструкції, а також моделі вдосконалених процесів, якими вони повинні бути. На даному етапі дуже важливо фіксувати саме поточний, реальний стан предметної області і те, як насправді реалізується процес без поправок на підставі побажань та ідей опитуваних посадових осіб. Крім того, не варто описувати процеси строго по нормативним і методичним документам, оскільки існують чимало ситуацій, коли вони виконуються трохи інакше.

Основи управління бізнес-процесами

Задача управління бізнес-процесами підприємства виникає в умовах, коли необхідно підвищити ефективність процесів, які виконуються згідно зі стратегією і цілями функціонування компанії.

Управління бізнес-процесами дозволяє досягти деяких переваг і підвищити ефективність діяльності всього підприємства за рахунок підвищення прозорості та зростання розуміння зон відповідальності за ті чи інші дії кожного виконавця операцій бізнес-процесу. Крім того, з'являється можливість своєчасного вдосконалення і коригування бізнес-процесів. Створюються умови для більш зручного контролю, оцінки та аналізу ефективності їх реалізації. Документування процесів дозволяє забезпечити збереження і передачу знань між співробітниками компанії.

В сучасній організації управління бізнес-процесами здійснюється за допомогою різних спеціалізованих систем (систем управління ресурсами, взаємовідносинами з клієнтами та постачальниками, управління персоналом і т.д.), а також систем управління електронним документообігом та корпоративним вмістом. Крім того, існує клас систем управління бізнес-процесами. На практиці часто складається ситуація, коли в реалізації одного процесу одночасно задіяно кілька інформаційних систем. Така ситуація тільки ускладнює реалізацію процесу, збільшує час на його виконання, а також збільшує ймовірність виникнення помилок, пов'язаних з людським фактором.

Управління бізнес-процесами може включати в себе:

- визначення раціональної послідовності виконання бізнес-процесу;
- забезпечення рівномірного завантаження, узгодженості та єдності дій персоналу;
- складання сценарію виконання бізнес-процесу і виділення позицій прийняття рішення;
- визначення дій при відхиленнях від стандартного перебігу бізнес-процесу;
- обов'язкове прийняття рішень, де це необхідно;
- оптимізацію ресурсів і часу виконання бізнес-процесу;

- розробку і оновлення регламентної документації бізнес-процесу;
- аналіз результатів виконання бізнес-процесу;
- визначення коригувальних дій;
- форму участі керівників у виконанні процесу.

Цілі і задачі моделювання бізнес-процесів

Моделювання бізнес-процесів здійснюється для того, щоб визначити, як здійснюється та чи інша робота, що потрібно для її виконання, де виникають складності і ризики, хто відповідає за виконання даної роботи і т.д. Іншим завданням моделювання може бути фіксація існуючого порядку виконання процесів з метою подальшої регламентації і контролю діяльності працівників, що беруть участь в реалізації цих процесів. Також моделювання бізнес-процесів – необхідний етап аналізу діяльності з метою подальшої її автоматизації. Отже, перш ніж впровадити ту чи іншу інформаційну систему, необхідно провести аналіз і моделювання процесів, а також інформаційних потоків.

Універсальними цілями опису бізнес-процесів для всіх компаній (незалежно від їх роду і масштабу діяльності) є наступні:

визначення зон відповідальності керівників структурних підрозділів та їх заступників (якщо вони є);

отримання формалізованого опису діяльності компанії (його структурного підрозділу) для регламентації і автоматизації бізнес-процесу;

аналіз і вдосконалення бізнес-процесів, виявлення ризиків і слабких місць в реалізації процесів.

Опис бізнес-процесів дозволяє провести аналіз і оптимізацію дослідженої діяльності з метою підвищення її ефективності і скорочення ризиків, які можуть виникнути в ході її реалізації.

У більшості компаній в цілях удосконалення діяльності в тому чи іншому вигляді і масштабі вдаються до опису бізнес-процесів.

Способи опису бізнес-процесів

Різноманітність підходів до опису бізнес-процесів досить велика. У деяких випадках вдаються до існуючих підходів і стандартів дослідження і опису діяльності організації, в інших випадках створюють власні унікальні методики. Можна виділити три базових засоби опису бізнес-процесів: текстовий, табличний і графічний.

Текстовий опис бізнес-процесів. Текстовий засіб опису бізнес-процесів передбачає послідовний опис кожної операції процесу в звичайному текстовому форматі.

Текстовий опис бізнес-процесів, як правило, здійснюється у вигляді документа: інструкції, регламенту або стандарту.

Табличний опис бізнес-процесів. У регламентах частина інформації про правила реалізації процесу часто крім текстового варіанту представляють також в табличному і графічному вигляді. Доцільність табличного варіанту відображення залежить від складності та кількості операцій, що здійснюються в ході реалізації процесу. Графічне представлення наводиться в цілях візуалізації.

Графічний опис бізнес-процесів. Оскільки функціонування людського мозку налаштовано так, що інформація найкраще сприймається образами, то

останнім часом стали все частіше використовувати графічний засіб опису бізнес-процесів. Він дозволяє більш наочно описати процеси. Крім того, графічний метод дозволяє компактніше відобразити інформацію, що стосується конкретного бізнес-процесу, що істотно полегшує процес аналізу та оптимізації бізнес-процесів.

Графічний опис бізнес-процесів інакше називають моделюванням бізнес-процесів, в результаті якого створюються моделі процесів.

Таким чином, моделювання бізнес-процесів – це процес точного опису бізнес-процесів і його складових елементів, тобто побудова його моделі. Де під моделлю процесу мається на увазі його формалізоване (графічне, табличне і текстове) представлення, що відображає реально існуючу або передбачувану діяльність організації.

Основними принципами моделювання бізнес-процесів є чітко сформульовані цілі, невеликий розмір моделей процесів, відображення тільки необхідних для досягнення цілей моделювання аспектів, а не всіх аспектів предметної області, що моделюється.

В області опису та аналізу діяльності організації також використовують класифікацію моделей по об'єкту моделювання та виділяють наступні типи моделей: організаційні, функціональні, інформаційні.

Базові методології моделювання бізнес-процесів

Моделювання бізнес-процесу здійснюється за допомогою графічного способу опису його елементів. Для того щоб графічно зобразити бізнес-процес, необхідно визначити, який елемент, яким чином буде представлений, як будуть зображуватися зв'язки між ними. Якщо цього заздалегідь не визначити, то згодом при описі конкретних процесів виникне плутанина, зростає ризик некоректного розуміння моделі, а значить, мета опису бізнес-процесу не досягнута. На сьогоднішній день існує велика різноманітність методологій моделювання бізнес-процесів. Крім того, багато компаній розробляють власні стандарти їх опису.

Методологія моделювання бізнес-процесів являє собою сукупність методів і правил опису бізнес-процесів, за допомогою яких об'єкти і зв'язки між ними представляються у вигляді моделей. Можна виділити три основні підходи до моделювання бізнес-процесів: 1) вертикальний опис (функціональний підхід); 2) горизонтальний опис (процесний підхід); 3) об'єктно-орієнтований підхід.

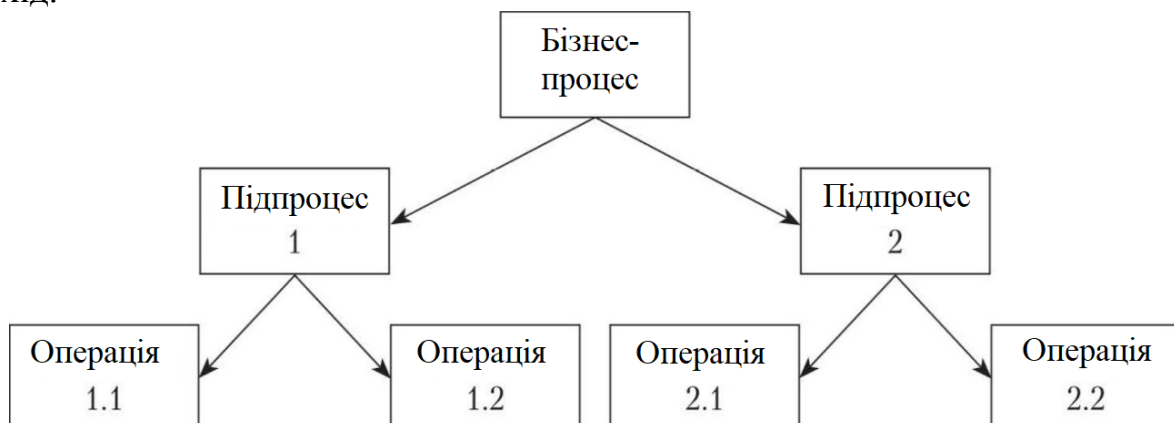


Рисунок 1. Вертикальний опис бізнес-процесу

Для більш детального опису бізнес-процесу застосовується горизонтальний (процесний) підхід. Він дозволяє описати не тільки операції процесу і їх ієрархічні взаємозв'язки, але й горизонтальні взаємодії між ними (рис. 2). На практиці, коли стоїть завдання не тільки привести перелік процесів, функцій, операцій, але і дати їх детальний опис, яке в подальшому можна використовувати для їх вдосконалення та оптимізації, застосовується горизонтальний (процесний) підхід.

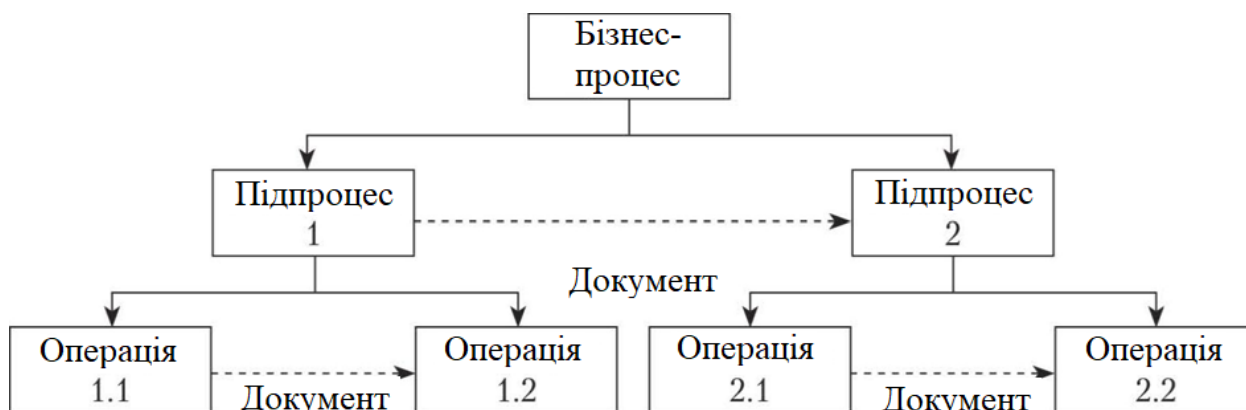


Рисунок 2. Горизонтальний опис бізнес-процесу

При об'єктно-орієнтованому моделюванні бізнес-процесу головним є показ загальної схеми взаємодії об'єктів з описом умов і подій, які ініціюють виконання функцій, що входять до складу даного процесу.

Класична технологія моделювання бізнес-процесів ґрунтується на двох базових стандартах опису бізнес-процесів: діаграмі потоків даних (Data Flow Diagram - DFD) і діаграмі потоків робіт (Work Flow Diagram - WFD).

Більшість методологій і стандартів моделювання бізнес-процесів, що використовуються сьогодні, є їх вдосконаленими або доповненими аналогами.

Сучасні методології моделювання бізнес-процесів

В даний час існує і використовується велика кількість різних методологій моделювання бізнес-процесів. Основними з них є: DFD, WFD, IDEF, ARIS, UML, BPMN.

Вибрати кращу для використання методологію досить складно, але можливо, якщо визначити, які завдання стоять перед моделюванням бізнес-процесів і як потім ці моделі передбачається використовувати. В якості основних завдань аналізу і моделювання можна виділити:

1) виявлення системи процесів організації, а також ресурсів, необхідних для їх ефективного виконання, інформаційних систем, що використовуються при реалізації бізнес-процесів, зв'язків між процесами;

2) опис і регламентація роботи персоналу компанії в рамках конкретних бізнес-процесів для власних потреб або для сертифікації за стандартом ISO 9000;

3) автоматизація досліджуваної діяльності;

4) реалізація і управління бізнес-процесами за допомогою використання розроблених моделей.

Для першого варіанту найкраще підходить сімейство методологій IDEF. Також можна використовувати методологію DFD.

Всі чотири завдання повністю можна розв'язати за рахунок використання мови UML (Universal Modeling Language). Розширення стандарту UML двома додатковими моделями - бізнес-процесів (Business Use Case Model) та бізнес-аналізу (Business Analysis Model) дозволяє повністю закрити всі питання пов'язанні зі складанням графічної моделі бізнес-процесів компанії.

Модель бізнес-процесів – модель, що описує бізнес-процеси організації в термінах ролей і їх потреб. Вона являє собою розширення моделі варіантів використання (use case) UML за рахунок введення набору стереотипів - Business Actor (стереотип дійової особи) та Business Use Case (стереотип варіанти використання).

Business Actor (дійова особа бізнес-процесів) – це деяка роль, зовнішня по відношенню до бізнес-процесів організації. Потенційними кандидатами в дійові особи бізнес-процесів є:

замовники;

постачальники;

партнери;

потенційні клієнти;

співробітники підрозділів організації, діяльність яких не охоплена моделлю;

зовнішні системи та ін.

Список діючих осіб складається шляхом відповіді на наступні питання:

Хто отримує користь з існування організації?

Хто допомагає організації здійснювати свою діяльність?

Кому організація передає інформацію і від кого отримує?

Business Use Case (варіант використання з точки зору бізнес-процесів) визначається як опис послідовності дій (потоків подій) в рамках деякого бізнес-процесу, що приносить конкретний результат деякій дійовій особі.

Це визначення подібно загальним визначенням бізнес-процесу, але має більш точний зміст. У термінах об'єктної моделі Business Use Case представляє собою клас, об'єктами якого є конкретні потоки подій в рамках описуваного бізнес-процесу.

Даний метод концентрує увагу в першу чергу на елементарних бізнес-процесах. Такий процес можна визначити як завдання, що виконується однією людиною в одному місці в один час у відповідь на деяку подію, яка приносить конкретний результат і переводить дані в якийсь стійкий стан (наприклад, підтвердження платежу по кредитній картці). Виконання такого завдання зазвичай включає від п'яти до десяти кроків і може займати від декількох хвилин до декількох днів, але розглядається як один сеанс взаємодії дійової особи з виконавцями.

Кожен Business Use Case відображає мету або потребу деякої дійової особи. Стереотипи зв'язків явно показують роль діючих осіб по відношенню до варіантів використання.

Опис Business Use Case представляє собою специфікацію (текстовий

документ), яка, подібно до звичайного варіанту використання, складається з наступних пунктів:

- найменування;
- короткий опис;
- цілі та результати (з точки зору чинної особи);
- опис сценаріїв (основного і альтернативних);
- спеціальні вимоги (обмеження за часом виконання або інших ресурсів);
- розширення (виняткові ситуації);
- зв'язку з іншими Business Use Case;
- діаграми діяльності (для наочного опису сценаріїв - при необхідності).

Опис Business Use Case може супроводжуватися метою процесу, яка так само, як і в методі Eriksson-Penker, моделюється за допомогою класу зі стереотипом «goal», а дерево цілей зображується у вигляді діаграми класів.

Для кожного Business Use Case будується модель бізнес-аналізу – об'єктна модель, що описує реалізацію бізнес-процесу в термінах взаємодіючих об'єктів (бізнес-об'єктів - Business Object), що належать до двох класів – Business Worker і Business Entity.

Business Worker (виконавець) – активний клас, який представляє собою абстракцію виконавця, що виконує деякі дії в рамках бізнес-процесу. Виконавці взаємодіють між собою і маніпулюють різними сутностями, беручи участь в реалізаціях сценаріїв Business Use Case. На діаграмі класів UML виконавець представляється у вигляді класу зі стереотипом «business worker». Наприклад, якщо розглянути Business Use Case «Пройти реєстрацію», можна визначити в ньому двох виконавців - Реєстратора і Координатора багажу.

Business Entity (сутність) – пасивний клас, не ініціює жодних взаємодій. Об'єкт такого класу може брати участь в реалізаціях різних Business Use Case. Сутність є об'єктом різних дій з боку виконавців.

Поняття Business Entity аналогічно поняттю сутності в моделі «сутність-зв'язок», за винятком того, що в даній моделі не визначається поведінка суті, а в об'єктній моделі сутність може мати набір обов'язків. На діаграмі класів UML сутність представляється у вигляді класу зі стереотипом «business entity».

Модель бізнес-аналізу може складатися з діаграм різних типів. До складу моделі обов'язково повинна входити діаграма класів, яка містить виконавців і сутності.

Крім діаграми класів, модель бізнес-аналізу може включати:

- Діаграми послідовності (і діаграми кооперації), що описують сценарії Business Use Case у вигляді послідовності обміну повідомленнями між об'єктами-дійовими особами і об'єктами-виконавцями. Такі діаграми допомагають явно визначити в моделі обов'язки кожного виконавця у вигляді набору операцій класу.
- Діаграми діяльності з потоками об'єктів і «плавальними доріжками», що описують взаємозв'язок між сценаріями одного або різних Business Use Case.
- Діаграми станів, які описують поведінку окремих бізнес-об'єктів.

Використання UML для побудови моделі бізнес-процесів має наступні переваги:

- модель бізнес-процесів будується навколо учасників процесів і їх цілей, допомагаючи виявити всі потреби клієнтів організації. Неважко помітити, що такий підхід найбільшою мірою застосовується для організацій, що працюють в сфері надання послуг;
- моделювання на основі варіантів використання сприяє розумінню бізнес-моделі з боку замовників;
- метод передбачає досить простий перехід від бізнес-моделі до системних вимог.

Оцінювання бізнес-процесів

Перед тим як розпочати безпосередньо аналіз процесу, необхідно оцінити його можливості.

Оцінка процесів визначається 6-бальною шкалою. Найнижча оцінка – неповний процес, найвища – процес що оптимізується. Дана шкала відповідає системі оцінки управління бізнес-процесів за допомогою визначення рівнів зрілості.

Оцінка бізнес-процесу – це процес встановлення значимості процесу за ступенем внеску в досягнення цілей організації, визначення його параметрів в якісному і кількісному вираженні.

Схема оцінки базується на вимірюванні процесів по набору його атрибутів. Кожен атрибут визначає конкретну характеристику можливостей процесу, які, в свою чергу, ранжуються за певною шкалою. У табл. 1 представлені рівні можливостей процесів і атрибути, що ідентифікують досягнення конкретного рівня.

Рівні можливостей процесу встановлюються при наявності у оцінюваного процесу атрибутів, що відповідають даному рівню, і атрибутів всіх попередніх рівнів. Виняток становить нульовий рівень, оскільки до цього рівня відносяться процеси, які не реалізуються або в результаті його реалізації не досягнуті результати, для отримання яких він виконувався.

Таблиця 1. Рівні можливостей процесів і їх атрибути

Рівні можливостей	Атрибути
Рівень 0. Неповний процес	Нема
Рівень 1. Здійснений процес	АП 1.1. Атрибут здійснення процесу
Рівень 2. Процес, що керується	АП 2.1. Атрибут керування здійсненням
	АП 2.2. Атрибут керування робочим продуктом
Рівень 3. Встановлений процес	АП 3.1. Атрибут визначення процесу
	АП 3.2. Атрибут розгортання процесу
Рівень 4. Прогнозований процес	АП 4.1. Атрибут виміру процесу
	АП 4.2. Атрибут контролю процесу
Рівень 5. Процес, що оптимізує	АП 5.1. Атрибут інновації процесу
	АП 5.2. Атрибут оптимізації процесу

Рівень 1. Здійснений процес. Здійснений процес досяг свого призначення. Атрибут здійснення процесу (АП 1.1) є мірою того рівня, до якої процес досягає свого призначення. В результаті повного досягнення цього атрибута процес досяг своїх певних виходів.

Рівень 2. Процес, що керується. Описаний вище здійснений процес на даному рівні виконується керованим чином (планується, регулюється і проводиться його моніторинг), а його робочі продукти відповідним чином встановлені, контролюються і підтримуються. Наступні атрибути процесу разом з визначеним раніше атрибутом демонструють досягнення даного рівня:

Атрибут керування здійсненням (АП 2.1) є мірою того рівня, до якої може бути досягнуто управління здійсненням процесу; повне досягнення цього атрибута характеризується наступним:

- ідентифіковані цілі здійснення процесу;
- здійснення процесу планується і проводиться його моніторинг;
- здійснення процесу регулюється для відповідності планам;
- визначені, розподілені і доведені до відома відповідальність і повноваження по здійсненню процесу;
- ідентифіковані, доступні, виділені і застосовані ресурси і інформація, необхідні для здійснення процесу;
- інтерфейси між сторонами керуються з метою забезпечення як ефективної взаємодії, так і чіткого розподілу відповідальності;

Атрибут керування робочим продуктом (АП 2.2) (До робочих продуктів відносяться продукти і послуги, що отримуються в результаті досягнення результатів виконання процесу) є мірою того рівня, до якої має бути досягнуто управління робочими продуктами, створеними процесом; повне досягнення цього атрибута характеризується наступним:

- визначені вимоги до робочих продуктів процесу;
- визначені вимоги до документації і контролю за робочими продуктами;
- робочі продукти належним чином ідентифіковані, задокументовані і контролюються;
- проводиться нагляд за робочими продуктами відповідно до запланованого порядку і при необхідності регулювання для задоволення вимог.

Рівень 3. Встановлений процес. Описаний вище керований процес на даному рівні здійснюється з використанням певного процесу, який здатний досягти виходів цього процесу. Наступні атрибути процесу спільно з раніше визначеними атрибутами демонструють досягнення даного рівня:

Атрибут визначення процесу (АП 3.1) є мірою того рівня, до якої повинен бути забезпечений стандартний процес для підтримки розгортання певного процесу; повне досягнення цього атрибута характеризується наступним:

- визначено стандартний процес, в тому числі відповідне керівництво по зв'язку, що описує основні елементи, які повинні бути включені в певний процес;
- визначені послідовність і взаємодія стандартного процесу з іншими процесами;
- ідентифіковані як частина стандартного процесу компетентності

- та ролі, необхідні для здійснення процесу;
- ідентифіковані як частина стандартного процесу інфраструктура і робоче середовище, необхідні для здійснення процесу;
- визначені відповідні методи для проведення моніторингу ефективності і застосовності процесу;

Атрибут розгортання процесу (АП 3.2) є мірою того рівня, до якої стандартний процес повинен бути ефективно розгорнуто як певний процес для досягнення виходів цього процесу; повне досягнення цього атрибута характеризується наступними:

- певний процес розгортається відповідним чином на основі обраного і (або) прив'язаного стандартного процесу;
- необхідні для здійснення певного процесу ролі, відповідальності і повноваження встановлені і повідомлені виконавцям;
- персонал, який здійснює певний процес, компетентний на підставі відповідної освіти, навчання і досвіду;
- необхідні для здійснення певного процесу ресурси і інформація доступні, виділені і використовуються;
- необхідні для здійснення певного процесу інфраструктура і робоче середовище доступні, керовані і супроводжуються;
- відповідні дані зібрані і проаналізовані як основа для розуміння поведінки процесу, для демонстрації його застосовності та ефективності і для оцінки того, де можливо безперервне поліпшення процесу.

Рівень 4. Прогнозований процес. Описаний вище встановлений процес на даному рівні здійснюється в певних межах для досягнення виходів цього процесу. Наступні атрибути процесу спільно з раніше визначеними атрибутами демонструють досягнення даного рівня:

Атрибут виміру процесу (АП 4.1) є мірою того рівня, до якої результати вимірювання використовуються для гарантії того, що здійснення процесу підтримує досягнення відповідних цілей процесу в забезпеченні певних бізнес-цілей. Повне досягнення цього атрибута характеризується наступним:

- встановлені інформаційні потреби процесу для забезпечення відповідних певних бізнес-цілей;
- визначені цілі вимірювання процесу на підставі інформаційних потреб процесу;
- встановлені кількісні цілі здійснення процесу для забезпечення відповідних бізнес-цілей;
- ідентифіковані та визначені засоби і частота вимірів відповідно до цілей вимірювання процесу і кількісним цілям здійснення процесу;
- зібрані, проаналізовані та повідомлені результати вимірювань для моніторингу ступеня, до якого досягнуті кількісні цілі здійснення процесу;
- результати вимірювання використані для характеристики

здійснення процесу;

Атрибут контролю процесу (АП 4.2) є мірою того рівня, до якої процес кількісно керується для створення стабільного, працездатного і передбачуваного в певних межах процесу; повне досягнення цього атрибута характеризується наступним:

- визначені і застосовуються методи аналізу та контролю;
- встановлені контрольовані межі варіацій для нормального здійснення процесу;
- дані вимірювань аналізуються щодо особливих причин варіацій;
- робляться коригувальні дії, спрямовані на особливі причини варіацій;
- після коригувальних дій переустановлюються (при необхідності) контрольовані межі.

Рівень 5. Процес, що оптимізує. Описаний вище передбачуваний процес на даному рівні безперервно поліпшується для досягнення відповідних поточних і планованих бізнес-цілей. Наступні атрибути процесу спільно з раніше визначеними атрибутами демонструють досягнення даного рівня:

атрибут інновації процесу (АП 5.1) є мірою того рівня, до якої ідентифіковані зміни процесу на основі аналізу загальних причин варіацій при виконанні процесу і на основі інноваційного підходу до визначення і розгортання процесу; повне досягнення цього атрибута характеризується наступним:

- визначені цілі поліпшення процесу, які забезпечують відповідні бізнес-цілі;
- проаналізовані відповідні дані для ідентифікації загальних причин варіацій при здійсненні процесу;
- проаналізовані відповідні дані для ідентифікації можливостей застосування в гарній практиці і інноваціях;
- ідентифіковані можливості покращень, що впливають з нових технологій та концепцій процесу;
- встановлено реалізацію стратегії для досягнення цілей поліпшення процесу;

атрибут оптимізації процесу (АП 5.2) є мірою того рівня, до якої зміни визначення, управління та здійснення процесу призводять до ефективного впливу, що досягає відповідних цілей поліпшення процесу; повне досягнення цього атрибута характеризується наступним:

- оцінено вплив всіх запропонованих змін щодо цілей певного і стандартного процесів;
- реалізація всіх узгоджених змін керується з метою забезпечити, що будь-яке втручання в здійснення процесу зрозуміле і проведено;
- ефективність змін процесу на підставі фактичного виконання оцінена щодо встановлених вимог до продукту і цілей процесу для визначення того, чи є отримані результати загальними або

окремим випадком.

В результаті проведення оцінки процесу відповідно до цього стандарту, можна визначити, на якому рівні розуміння і управління знаходиться кожен конкретний досліджуваний процес.

Методи аналізу бізнес-процесів

Аналіз бізнес-процесів є одним з етапів робіт, пов'язаних з поліпшенням діяльності компанії: описом, аналізом і удосконаленням. Ці роботи циклічно пов'язані одне з одним. Для того щоб щось оптимізувати, спочатку потрібно описати той об'єкт, який буде зазнавати змін, потім його досліджувати, проаналізувати сильні і слабкі сторони, можливі варіанти підвищення ефективності, вибрати з них найкращий і тільки потім провести всі необхідні зміни. Те ж саме стосується і робіт, пов'язаних з оптимізацією бізнес-процесів. Перш за все, їх потрібно описати. Як це здійснюється, за допомогою яких способів, методів та інструментів, показано в попередніх розділах. Після того як ці роботи виконані, можна приступати до аналізу бізнес-процесів, виявлення труднощів, проблем їх реалізації, а також до пошуку шляхів вирішення цих проблем і підвищенню ефективності реалізації процесів.

Для успішного проведення аналізу бізнес-процесів необхідно виконати його опис та визначити методи аналізу. Опис здійснюється на попередньому етапі. Як правило, методи, які будуть використовуватися для аналізу бізнес-процесів, обумовлюються в самому початку реалізації проекту або в ході передпроектної роботи при формулюванні постановки задачі або написанні технічного завдання. Варто також враховувати, що методи аналізу повинні бути адекватні методам опису процесів, оскільки в разі, якщо процес був описаний, наприклад, тільки за допомогою методології IDEF0, проаналізувати час реалізації процесу практично неможливо.

Аналіз - це діяльність, що вживається для визначення придатності, адекватності та результативності даного об'єкту для досягнення поставлених цілей.

Умовно всі види аналізу бізнес-процесів можна розбити на два види: якісні і кількісні. Методи, що застосовуються для аналізу процесу з точки зору його складових частин, елементів і способу реалізації, відносяться до якісних. Методи, які використовуються для оцінки процесу в цифровому вираженні (швидкість виконання, кількість продукції, що випускається, вартість реалізації і т.д.) при вимірюванні будь-яких показників ефективності його виконання, - до кількісних (табл. 2).

В рамках аналізу безперервності процесу вивчається послідовність операцій, що виконуються в ході реалізації процесу, визначається необхідність спрощення бізнес-процесів шляхом скорочення або перерозподілу (передачі повноважень) обов'язків між виконавцями операцій процесів.

Таблиця 2. Аналіз бізнес-процесу

Вид аналізу	Характеристика
Якісний аналіз	
Аналіз безперервності процесу	Аналіз операцій процесу та їх послідовності
Аналіз ресурсного забезпечення процесу	Аналіз керівників і виконавців процесу, вхідної та вихідної інформації, матеріальних, технічних та ІТ-ресурсів
Аналіз дотримання вимог до реалізації процесу	Аналіз відповідності всіх дій і використовуваних ресурсів нормативним правовим і іншим регламентуючим документам
SWOT-аналіз	Аналіз сильних і слабких місць в бізнес-процесі
Кількісний аналіз	
Аналіз результатів моніторингу виконання процесу	Аналіз показників ефективності
Аналіз результатів імітаційного моделювання	Аналіз динаміки виконання процесу, результатів розрахунку вартісних характеристик процесу

Аналіз ресурсного забезпечення процесу полягає в дослідженні тих ресурсів, які потрібні для реалізації процесу: людських, матеріально-технічних і інформаційних. Тут в якості об'єкта дослідження виступають:

власник і відповідальні виконавці процесу і його операцій;

вхідна та вихідна інформація, а також інформація, яка регламентує виконання процесу (інструкції, організаційно-розпорядчі та нормативні правові акти і т.ін.);

матеріали, обладнання, верстати, інструменти, інформаційно-комунікаційні системи тощо.

Всі ці ресурси в тій чи іншій мірі деталізації практично завжди вказуються в ході моделювання бізнес-процесів. Ступінь їх деталізації залежить від специфіки організації і цілей аналізу. Варто зазначити, що в рамках даного аналізу фінансові ресурси не досліджуються, оскільки аналіз вартості реалізації процесу здійснюється за допомогою кількісних видів аналізу.

Одна з основних завдань даного типу аналізу полягає у виявленні наявності всіх елементів, необхідних для здійснення процесу.

Оскільки одним з головних принципів процесного управління є наявність суб'єкта, відповідального за виконання процесу, тобто його власника, то важливим етапом даного аналізу буде ідентифікація власника процесу і відповідальних виконавців всіх підпроцесів і операцій. Варто звернути увагу на те, що не може бути більше одного відповідального виконавця для кожного процесу, підпроцесу або операції.

Далі аналізується кількість учасників процесу, а також доцільність їх використання в даному процесі. Тут доречно використовувати здоровий глузд і бенчмаркінг.

В рамках аналізу входів і виходів вивчаються два основних аспекти: 1) потреба у входах і виходах; 2) виявлення невикористовуваних виходів.

Аналіз дотримання вимог до реалізації процесу здійснюється з метою виявлення відповідності реального виконання бізнес-процесу вимогам і нормам, що пред'являються до нього. Будь-яка діяльність компанії в тій чи

іншій мірі регулюється різними законодавчими, нормативно-правовими та організаційно-розпорядчими актами. Як правило, у внутрішніх нормативно-правових та організаційно-розпорядчих актах, стандартах, регламентах і інструкціях враховуються вимоги законодавства країни.

Вимога – документально викладений критерій, який повинен бути виконаний, якщо потрібна відповідність документу, і по якому не дозволені відхилення.

Тому при дослідженні доцільно обмежитися зіставленням моделі процесу «як є» документам, відповідно до яких здійснює свою діяльність конкретна організація (якщо інше не передбачено проектом дослідження діяльності компанії). До таких документів належать: інструкції, регламенти, стандарти, накази, розпорядження, закони і підзаконні акти та інші документи, отримані в ході дослідження діяльності компанії.

В якості окремого типу аналізу дотримання вимог до реалізації процесу варто виділити перевірку на відповідність бізнес-процесу вимогам, що пред'являються з боку менеджменту якості відповідно до стандарту, який застосовується в досліджуваній організації.

SWOT-аналіз – один з найбільш поширених методів складання характеристики бізнес-процесу на верхньому рівні деталізації, оскільки він дає можливість проаналізувати процес як зсередини, так і у взаємозв'язку з навколишнім середовищем, що дозволяє визначити можливі шляхи його вдосконалення.

SWOT (Strength, Weakness, Opportunities, Treatment) перекладається як сильні сторони, слабкі сторони, можливості, загрози. Що стосується аналізу бізнес-процесів даний метод дозволяє провести аналіз сильних і слабких сторін бізнес-процесу, можливостей розвитку і ризиків. Внутрішній стан процесу оцінюється шляхом виявлення сильних і слабких сторін, а аналіз можливостей і загроз дозволяє оцінити процес з боку навколишнього середовища (під навколишнім середовищем в даному випадку розуміється все, що виходить за рамки конкретного досліджуваного бізнес-процесу).

SWOT-аналіз дозволяє здійснити попередню якісну оцінку процесу верхнього рівня, базуючись тільки на результатах опитування та анкетування менеджменту компанії і безпосередніх виконавців бізнес-процесу. Для його реалізації не потрібно будувати моделі процесу. Побудована SWOT-матриця дає якесь цілісне узагальнене розуміння процесу, яке дозволяє визначити напрямки поглибленого вивчення процесу і його операцій, а також сформулювати показники його ефективності.

Аналіз результатів моніторингу виконання процесу (показників ефективності) є важливим інструментом управління організацією в цілому і її процесами. Даний метод застосовується для підтримки процесів в керованому стані, для контролю виконання нормативних вимог і зобов'язань перед споживачами, результатів реалізації процесів, для оцінки рівня їх ефективності та гнучкості.

Система вимірювань бізнес-процесів повинна розроблятися ще на стадії їх проектування, однак на практиці все відбувається зовсім не так. Тому в ході

опису та визначення методів вдосконалення розробляються і показники, за якими згодом здійснюється їх оцінка.

Залежно від призначення і ступеня важливості можна виділити наступні групи показників процесу, що вимірюються:

- показники якості:
 - критичні показники – встановлюють відповідність продукції вимогам безпеки і чинному законодавству;
 - ключові характеристики, які пов'язані з безпекою і законодавством, тобто показники, що вимірюються - забезпечують швидкий зворотний відгук і надають можливість негайного корегування процесу, дозволяють виявити проблеми з моменту їх появи, а також виміряти невдоволення споживача кількісно і якісно;
 - рівень задоволеності і лояльності споживачів;
- показники продуктивності процесу:
 - економічна ефективність – відношення вартості виходу до вартості входу і витрачених ресурсів;
 - продуктивність – показник обсягу виробництва на одиницю покладених ресурсів;
 - тривалість циклу від моменту отримання замовлення до появи готового продукту;
 - результативність – ступінь реалізації запланованої діяльності та досягнення запланованих результатів.

Показники продуктивності процесу призначені для характеристики процесу з точки зору його тривалості і витрат ресурсів на його реалізацію. Дані показники можуть виражатися в абсолютних або відносних величинах.

В рамках аналізу бізнес-процесу інтерес представляють кількісні абсолютні та відносні показники, що характеризують час виконання процесу, використання технологій, вартість і якість. Приклади даних показників наведені в табл. 3.

Під категорією «час» маються на увазі тимчасові показники реалізації процесу. Як правило, вони даються в деякому усередненому вигляді.

Під категорією «технологія» маються на увазі показники, які дозволяють охарактеризувати застосовані технології реалізації процесу, робочі місця, персонал, обладнання, телекомунікаційне обладнання, програмне забезпечення та т.п. - все, що потрапляє під «механізми і інструменти реалізації процесу». Відносні показники цієї категорії дозволяють оцінити ефективність організації бізнес-процесу, наскільки раціонально використовуються ресурси в порівнянні з іншими процесами організації або в порівнянні з подібними процесами іншої компанії. Абсолютні величини цих показників частіше використовуються для визначення інших показників, наприклад, кількості запитів до бази даних одного оператора за зміну.

До категорії «вартість» відносяться показники, що характеризують процес з точки зору фінансових витрат на його реалізацію і досягнення поставлених перед ним цілей.

Під категорією «якість» слід розуміти вимірювані показники, що вимірюються, які дозволяють охарактеризувати процес і результат його реалізації з якісної сторони.

Таблиця 3. Приклади кількісних показників процесу

Категорія	Абсолютні показники	Відносні показники
час	Тривалість виконання процесу; тривалість простоїв; час виконання кожної операції процесу	Показники план / факт (плановий / фактичний час виконання процесу); показники порівняння (середній час виконання процесу / середній час виконання процесу в компанії конкурента); питомі показники (час виконання процесу / кількість виконавців процесу)
технологія	Кількість застосованих ПК; кількість учасників процесу; число звернень до бази даних за один цикл реалізації процесу	Показники план / факт (планова / фактична кількість транзакцій); показники порівняння (кількість учасників процесу / кількість учасників процесу в компанії конкурента); питомі показники (офісна площа на одного працівника)
вартість	Вартість реалізації процесу; витрати на: оплату праці, матеріали, амортизацію обладнання; вартість продукту / послуги	Показники план / факт (планова / фактична вартість реалізації процесу); показники порівняння (витрати на оплату праці / витрати на оплату праці в компанії конкурента); питомі показники (рентабельність = прибуток від реалізації процесу / вартість реалізації процесу)
якість	Кількість дефектів, рекламацій і повернень продукції, позаштатних ситуацій, де потрібно втручання керівництва	Показники план / факт (планова / фактична кількість скарг клієнтів); показників порівняння (кількість дефектних продуктів / кількість дефектних продуктів в компанії конкурента); питомі показники (кількість скарг / загальна кількість клієнтів)

Аналіз результатів імітаційного моделювання здійснюється, як правило, за допомогою аналізів таких результатів, як:

- * Аналіз результатів моделювання тимчасових характеристик процесу і параметрів ресурсів (аналіз динаміки виконання процесу);

- * Аналіз результатів розрахунку вартісних характеристик процесу (ABC-аналіз, поопераційний розрахунок вартості).

Аналіз результатів імітаційного моделювання полягає в інтерпретації результатів моделювання, отриманих після обробки спеціалізованою комп'ютерною програмою відомостей про досліджуваний бізнес-процесі. На підставі цієї інформації робиться висновок про те, за яких умов досліджуваний процес буде виконуватися найбільш ефективно.

В рамках аналізу результатів імітаційного моделювання досліджується динаміка реалізації процесу, зміна часових і ресурсних характеристик процесу. Часто імітаційне моделювання використовується також з метою аналізу вартості процесу (ABC-аналізу, поопераційного розрахунку вартості). Результатом таких досліджень, як правило, є пропозиції і рекомендації використання певних підходів, що дозволяють оптимізувати використання фінансових ресурсів, скоротити час на виконання даних процесів, за рахунок підвищення ефективності організації інформаційного обміну між операціями

всередині процесу і з зовнішніми процесами, а також за рахунок використання інформаційних систем і збільшення продуктивності персоналу.

Таким чином, за допомогою аналізу, зокрема, визначають наступні показники:

результативність управління інформаційними потоками;

час виконання процесу;

відповідність дій, здійснюваних в ході реалізації процесу, нормативним і іншим вимогам;

внутрішній контроль виконання операцій і обробки інформації в ході реалізації процесу;

можливість стандартизації операцій процесу;

наявність дублювання (операцій, даних) і непотрібних дій;

результативність застосованих механізмів, в тому числі і інформаційних систем.

В результаті проведеного аналізу можна зробити висновок про відповідність процесу (системи процесів) цілям і задачам, а також вимогам, що пред'являються до їх реалізації.

Використання моделей рівня зрілості для управління інноваційними проектами

У сфері управління проектами використовується не тільки модель ОРМЗ, але і багато інших. Однак, слід зазначити, що практика використання різних моделей зрілості в сфері проектного управління пов'язана практично цілком і повністю з використанням моделей ОРМЗ і СММІ [10-11]. Модель СММІ в даний час є найбільш авторитетною в області управління проектами створення програмного забезпечення, складних інформаційних і соціально-технічних систем. Модель ОРМЗ, значно поступаючись по загальному впливу і визнанням моделі СММІ, тим не менш, дуже популярна в інших сферах застосування проектного управління. А з огляду на те, що ці сфери зараз збільшуються і розширюються практично щодня, то і популярність ОРМЗ також збільшується. Слід також зазначити, що зважаючи на високий ступінь близькості концептуальних засад моделі ОРМЗ і СММІ ці моделі іноді використовуються разом. Часто це відбувається в секторах економіки, де створюються інноваційні програмно-технічні комплекси.

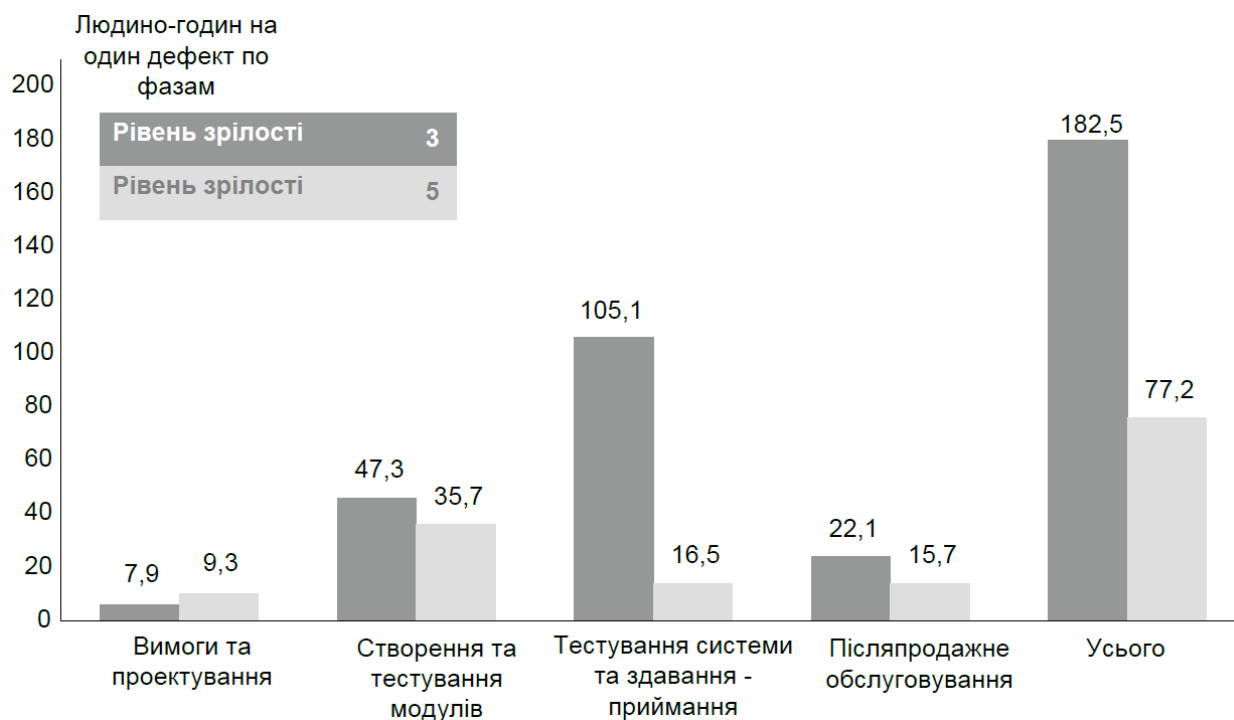
З огляду на той факт, що моделі зрілості є інтелектуальним продуктом, інформаційний простір наповнено позитивним досвідом використання цих продуктів.

Досвід використання моделі СММІ значно ширше і набагато краще задокументовано і узагальнено, ніж досвід використання ОРМЗ. Тому інститут SEI [12] має можливість видавати узагальнені огляди результатів, що виникають в ході використання моделі СММІ.

За результатами використання моделі СММІ в різних організаціях [13-14] були виявлені наступні поліпшення. Покращилося дотримання термінів завершення проектів на 4,9%. Індекс виконання розкладу (Schedule performance index - SPI) покращився з 0,78 до 0,93 в середньому по всіх проектах. В 6,35 разів скоротився час, що витрачається на виявлення дефектів і їх виправлення. Витрати на пошук і усунення дефектів впали на 22%. Скорочення загальних

витрат на усунення дефектів склало в середньому від 1,9 до 2,3 млн. доларів США в середньому на проект. Час на усунення серйозних дефектів на стадіях інтеграції та тестування систем скоротився на 24%. Індекс виконання бюджету (Cost performance index - CPI) покращився з 0,88 до 0,96. Накладні витрати по проектам скоротилися в середньому на 7,3%. Витрати на стадію розробки систем скоротилися на 28%. На рис. 3 наведено графік скорочення витрат часу на виявлення та виправлення одного дефекту на різних стадіях.

Рисунок 3. Порівняльний аналіз витрат часу на виявлення та усунення дефекту по стадіям



проекту на різних рівнях зрілості.

В області якості також були отримані непогані результати. Так на 62,5% скоротилася кількість серйозних дефектів. На 65% скоротилася частота дефектів електронного обладнання. Кількість дефектів, що усуваються в рамках тієї стадії, де вони були виявлені, збільшилася на 240%. Кількість дефектів, що усуваються до тестування системи, перевищило 85%. Покращення в області обмеження серйозних дефектів по стадіям проекту показані на рис. 4.

В одній з компаній, що досліджувалися, продуктивність збільшилася на 42% за 9 років (час досягнення п'ятого рівня зрілості). В іншій організації перехід з рівня 3 на рівень 5 супроводжувався підвищенням продуктивності на 25,2%. Важливим аспектом будь-якої діяльності є цінність для клієнта і його задоволеність. Як індикатор споживчої цінності і задоволеності використовувався показник обсягу додаткових винагород, виплачених клієнтом виконавцю проекту. В одній організації при переході з рівня зрілості 2 до рівня 5 загальний обсяг винагород збільшився на 50%. В іншій організації було зафіксовано економія витрат у замовника в розмірі 25%.

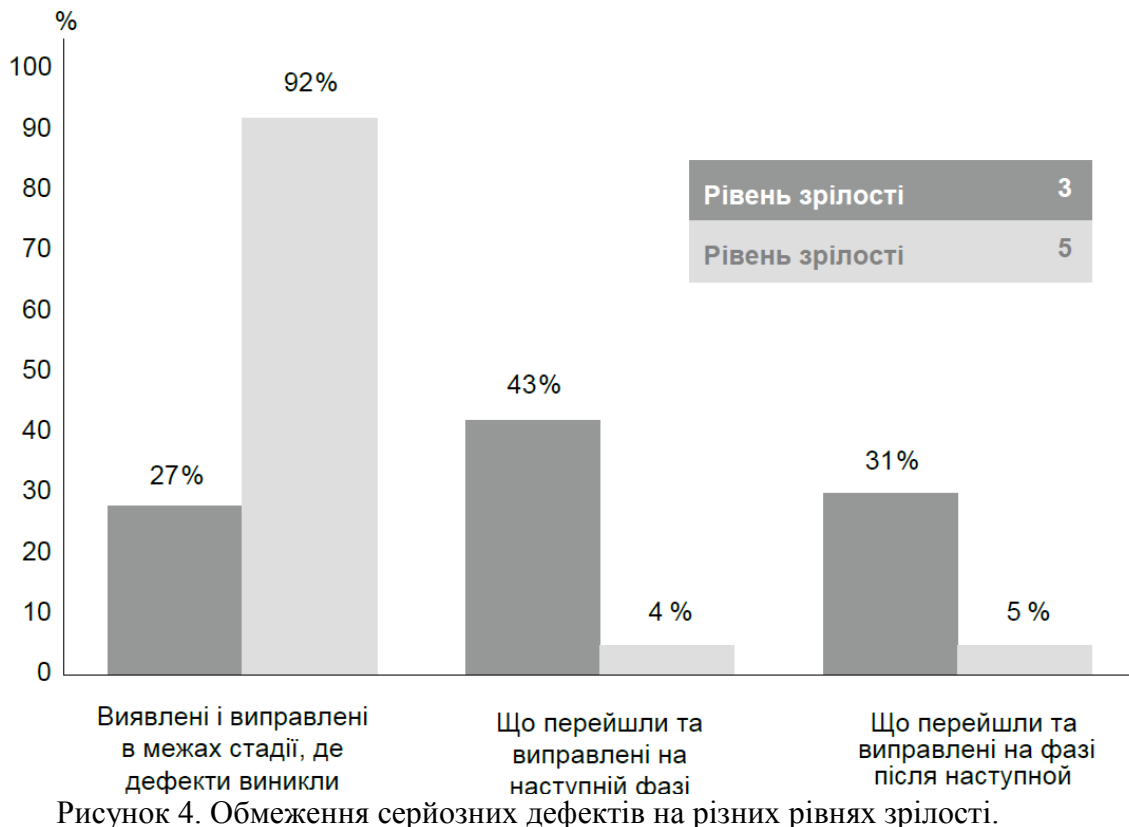


Рисунок 4. Обмеження серйозних дефектів на різних рівнях зрілості.

Найвищий показник ефективності вкладень в заходи щодо використання СММІ в 7 досліджених організаціях склав 27,7:1 (тобто один витрачений долар на використання СММІ приніс 27,7 долара у вигляді збільшення прибутку, в першу чергу за рахунок скорочення витрат), найнижчий показник - 1,7:1, найчастіше зустрічається (медіана) - 4: 1.

Крім цього, були виявлені певні не кількісні поліпшення, такі як:

- Скорочення понаднормових робіт і зниження надлишкової інтенсивності;
- Підвищення ясності в розподілі обов'язків і відповідальності;
- Вироблення єдиної термінології і мови взаємодії за різними проектами;
- Скорочення робіт зі зміни планів і перепланування,
- Підвищення загальної якості продукції, скорочення зусиль на обслуговування і технічну підтримку;
- Поліпшення передбачуваності проектів і робіт;
- Скорочення тренінгових програм через доступність необхідних знань в документації по процесам;
- Підвищення задоволення працівників і скорочення плинності кадрів.

Ці покращення було сформульовано на підставі узагальнення результатів використання СММІ багатьма компаніями, що були оприлюднені.

Особливо болючим є застосування моделі зрілості в сферах управління інноваційними проектами.

В інноваційному проекті вкрай важливим джерелом ефективності є особистісні якості і неформальні відносини між людьми. І ті й інші дозволяють

колективам гнучко реагувати на непередбачені обставини, спільно шукати нові несподівані рішення. Дуже часто формальні процеси і процедури можуть ставати все менш і менш ефективними в міру підвищення рівня зрілості.

Виявляється, що для інноваційної діяльності організаційна незрілість може супроводжуватися виробленням ефективних інструментів управління творчої та пошукової діяльності. Саме неформальні практики дозволяють спонтанно реагувати, імпровізувати, експериментувати, шукати нові рішення. Інноваційна діяльність передбачає особливий творчий клімат, який характеризується свободою дій, спонтанністю рішень, відкритістю і неформальністю комунікацій.

Узагальнюючи розгляд критичних аспектів використання моделей зрілості при управлінні інноваційними проектами, можна виробити такі рекомендації.

По-перше, моделі зрілості повинні бути адаптовані до стратегії розвитку компанії. Каталоги моделей ОРМЗ і СММІ містять в собі кращу практику проектно-орієнтованих компаній, зібрану і проаналізовану фахівцями. Якась узагальнена найкраща практика неминуче вимагає адаптації, причому не тільки з точки зору готовності компанії сприймати ті чи інші процеси або процедури проектного управління, тобто з точки зору рівнів зрілості, а й з точки зору конкретних положень стратегії компанії. В якості конкретних заходів по оптимізації використання моделей зрілості управління інноваційними проектами пропонується:

- Необхідно провести визначення основних положень стратегії розвитку компанії та похідних від неї вимог до напрямів і характеру розвитку системи проектного управління компанією.
- Необхідно провести виявлення основних напрямків і характеру інноваційного розвитку компанії і її системи управління проектами.
- Уважне вивчення каталогів кращих практик моделей зрілості, аналіз і оцінка ступеня відповідності кожної кращої практики виявленими напрямками і характеру стратегічного та інноваційного розвитку системи проектного управління компанії.
- Формування класифікаційної системи типів проектів, що реалізуються в компанії, визначення специфічних вимог до управління проектами різного типу, визначення ключових здібностей і практик управління проектами різного типу.
- Розвиток організаційної зрілості має обов'язково виражатися в зміні складу організаційних ресурсів і організаційної структури, що має забезпечувати підвищення ефективності як при освоєнні нових здібностей, так і при підвищенні зрілості по вже існуючим. Одним з найважливіших організаційно-структурних одиниць, яка повинна постійно і динамічно розвиватися слідом за розвитком організаційної зрілості, є проектний офіс або офіс управління.

По-друге, моделі зрілості слід доповнити динамічними здібностями і пов'язаними з ними практиками. Для інноваційної компанії важливо мати динамічні організаційні здібності, пов'язані з реструктуризацією компанії, з

реконфігурацією її діяльності, з освоєнням нових навичок і практик. У зв'язку з цим пропонується наступне:

- Каталоги моделі зрілості необхідно доповнити описом динамічних здібностей, причому як загального характеру так і конкретного характеру, стосовно даної організації. Опис динамічних здібностей повинен проводитися фахівцями компанії і має включати в себе всі необхідні атрибути звичайних здібностей, викладених в моделях зрілості.
- Особлива природа динамічних здібностей передбачає те, що рівень розвитку цих здібностей не повинен бути прив'язаний до того чи іншого рівня організаційної зрілості.
- Динамічні здібності повинні припускати використання формалізованих процедур і процесів, але при цьому і залишати великий простір для проведення дослідницьких, пошукових, експериментальних робіт.
- Динамічні здібності повинні реалізовуватися у вигляді конкретних практик, що забезпечують зміну складу процесів і практик, організаційної структури та складу організаційних одиниць, перенавчання персоналу, модернізацію технологій і методологій, зміна складу організаційних ресурсів, в тому числі і людських ресурсів.

По-третє, підвищення організаційної зрілості не обов'язково повинно супроводжуватися витісненням неформальних практик формалізованими процесами. Неформальні практики управління проектами, що надають свободу дій керівникам і фахівцям і передбачають можливість використання особистісних якостей і зв'язків, не повинні розглядатися як атрибути низького рівня організаційної зрілості. Неформальні практики слід використовувати на всіх рівнях зрілості, але склад цих практик і міру їх використання необхідно визначати заздалегідь, виходячи зі стратегії розвитку компанії, характеристик і змісту реалізованих проектів. Неформальні практики повинні забезпечувати гнучкість при здійсненні інноваційних проектів при вирішенні таких завдань як визначення вимог до проектів з боку реальних або потенційних замовників і клієнтів, підвищення творчої активності при пошуку і виробленні рішень нетривіальних проблем, розробка продукції на основі колективних зусиль всередині міжфункціональних і міжорганізаційних груп, взаємодія з зовнішніми учасниками проекту, організаційне навчання, вироблення нових знань і передача досвіду. В якості конкретних дій включає:

- Модель зрілості повинна включати опис складу та змісту неформальних практик управління проектами, прийнятих в організації, аналіз їх можливостей і обмежень, переваг і недоліків, напрямків подальшого вдосконалення.
- Неформальні практики не повинні бути прив'язані до певних рівнів зрілості, але в більшій мірі мати прив'язку до специфіки реалізованих інноваційних проектів.
- Особливу увагу необхідно приділити неформальним практикам при їх використанні для вироблення і передачі нових знань.
- Неформальні практики також повинні вдосконалюватися, але не на основі їх стандартизації і формалізації, але шляхом підготовки і навчання персоналу в

області методів вирішення творчих і винахідницьких задач, підвищення відкритості в професійних комунікаціях.

По-четверте, каталоги моделі зрілості проектного управління повинні бути відкритими і поповнюватися фахівцями і керівництвом компанії не тільки виходячи з дослідження кращих практик в управлінні проектом взагалі, а й стратегії розвитку компанії. В даний час моделі зрілості ОРМЗ і СММІ поширюються в вигляді закритих баз знань, сформованих великою групою фахівців з відповідних професійних асоціацій. Всі перераховані вище пропоновані заходи передбачають можливість доповнення і зміни вбудованих в стандартні варіанти моделей бази знань. Одночасно з цим слід враховувати, що вносяться до каталогу і бази знань моделей зрілості дані можуть містити конфіденційну інформацію. У зв'язку з цим по даному напрямку пропонуються наступні заходи:

- Роботами по адаптації моделі зрілості повинен займатися колектив фахівців як в області проектного управління, так і в області програмного забезпечення.
- Модель зрілості всередині компанії повинна дозволяти співробітникам здійснювати використання цієї моделі і її оновлення під контролем фахівців з проектного офісу.

По-п'яте, підвищення зрілості і розширення сфери використання формального інструментарію управління проектами та виконання робіт по проектам на основі сучасних інформаційних технологій може призводити до виникнення протиріч і неузгодженості в різних програмних продуктах. Для оптимізації даної проблеми пропонуються наступні заходи:

- Усі заходи щодо підвищення рівня зрілості проектного управління повинні узгоджуватися зі стратегією розвитку корпоративної інформаційної системи.
- Нові процеси і процедури, навіть якщо вони поки не припускають використання спеціалізованого програмного забезпечення, повинні обов'язково бути узгоджені з можливостями і обмеженнями корпоративних інформаційних систем.
- В разі якщо процеси або процедури проектного управління вимагають запровадження нових програмних продуктів або модернізацію вже існуючих в обов'язковому порядку повинно проводитися сполучення нових програмних продуктів зі сформованою інформаційно-технологічною архітектурою компанії і стратегією її розвитку.

По-шосте, використання моделі зрілості необхідно пов'язувати зі стратегією і тактикою управління ланцюгами поставок (supply chain management) і стратегією розвитку мережі постачальників і партнерів. Всі процеси, які передбачають можливість послідовної формалізації і стандартизації, мають високу стабільність і прозорість змісту. Це означає, що такого роду процеси можна передавати на аутсорсинг. Виходячи з цього, пропонуються наступні заходи:

- В каталогах кращих практик слід виділяти процеси які дозволяють досягати високого рівня формалізації та автоматизації і тому можуть розглядатися як

кандидати на аутсорсинг.

- Підвищення організаційної зрілості має передбачати розгляд питань про можливу передачу на аутсорсинг формалізованих процесів, що не володіють істотною стратегічною важливістю для компанії.

З причини того, що більшість інноваційних проектів передбачає участь великої кількості незалежних постачальників і партнерів, ефективність управління даними проектами залежить не тільки від ефективності внутрішніх процесів, а й від ефективності процесів зовнішніх, тобто процесів, що поєднують учасників проектів. Проектно-орієнтовані компанії повинні поширювати використання моделей зрілості також і на компанії, з якими доводиться часто співпрацювати при реалізації проектів. При цьому процеси поставок, реалізовані постачальниками і партнерами, слід розглядати як частину єдиної системи управління проектами. Розвиток цих зовнішніх процесів має протікати в режимі, що забезпечує узгодженість підвищення зрілості як внутрішніх процесів, так і зовнішніх.

Список використаних джерел

1. Дирлав, Д. Избранные концепции бизнеса. Теории, которые изменили мир : пер. с англ. / Д. Дирлав. – М. : Олимп-Бизнес, 2007 (М.). – 320 с.
2. Каменнова, М. Моделирование бизнеса. Методология ARIS / М. Каменнова, А. Громов, М. Ферапонтов, А. Шматалюк. – Весть-МетаТехнология, 2000. – 327 с.
3. Каплан, Р. С. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Р. С. Каплан, Д. П. Нортона. – М. : Олимп-Бизнес, 2003. – 282 с.
4. Коберн, А. Современные методы описания функциональных требований к системам: пер. с англ / А. Коберн. – М. : Лори, 2002. – 263 с
5. Котлер, Ф. Стратегический менеджмент по Котлеру. Лучшие примеры и методы / Ф. Котлер, Р. Бергер, Н. Бикхофф. – М. : Альпина Паблишер, 2012.
6. Репин, В. В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление / В. В. Репин. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 512с.
7. Спицнадель, В. Н. Основы системного анализа : учебное пособие / В. Н. Спицнадель; М-во общ. и проф. образования РФ. Балт. гос. техн. ун-т "Военмех". – Санкт-Петербург, 1998. – 259 с.
8. Хаммер, М. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнеса / М. Хаммер, Дж. Чампи ; пер. с англ. – СПб. : Издательство Санкт-Петербургского университета, 1997.
9. Шеер, А.-В. Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы : пер. с англ. / А.-В. Шеер. ; науч. ред. М.С. Каменнова, А.И. Громов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Весть-МетаТехнология, 2000. – 152 с.
10. Бабанский, А. В. Системы непрерывного улучшения продуктов и процессов / А. В. Бабанский. – Минск : Экоперспектива, 1999. – 237 с.
11. Бенделл, Т. П. Наставники по качеству: Филипп Кросби / Т. П. Бенделл, А. А. Константинов // Стандарты и качество. – 2007. – № 9.
12. Грей, К. Ф. Управление проектами: практическое руководство / К. Ф. Грей, Э. У. Ларсон; пер. с англ. – М. : Издательство «Дело и Сервис», 2003 – 528 с.
13. Репин, В. В. Процессный подход к управлению: Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин, В. Г. Елиферов. – М. : Стандарты и качество, 2005. – 408 с.
14. Хэмел, Г. Стратегическая гибкость / Г. Хэмел, К. Прахалад, Г. Томас, Д. О'Нил ; пер. с англ. – СПб. : Питер, 2005. – 384 с.

Міщенко М.В.

к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем в економіці,
Чернігівський національний технологічний університет

ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ЕКОНОМІКА, ОПИС ЧИСЛОВИХ МЕТОДІВ

Обчислювальна економіка є науковою дисципліною на стику інформатики, економіки і менеджменту [1]. Ця тема включає в себе комп'ютерне моделювання в економічних системах, зокрема з позиції агента, [2] теорію загальної рівноваги, [3] макроекономіку, [4] або теорію раціональних очікувань, [5] обчислювальну економетрику і статистику, [6] фінансово-розрахункові, обчислювальні засоби для проектування автоматизованих інтернет-ринків, інструментів програмування, спеціально призначених для обчислювальних наук, а також педагогічні засоби для навчання обчислювальній економіці. Деякі з цих напрямків унікальні для обчислювальних наук, в той час як інші розширюють традиційні галузі економіки, вирішуючи проблеми, які важко вивчати без використання комп'ютерів і пов'язаних чисельних методів [7].

Обчислювальна економіка використовує комп'ютерне економічне моделювання для вирішення аналітично і статистично сформульованих економічних проблем. У зв'язку з цим, науково-дослідницька програма включає обчислювальну економіку з позицій агента, обчислювальні дослідження економічних процесів, включаючи всю економіку, як динамічну систему взаємодіючих агентів [8]. Як така, вона є економічною адаптацією парадигми складних адаптивних систем [9]. Тут "агент" означає "обчислювальні об'єкти моделюються як такі, що взаємодіють у відповідності з правилами", а не реальну людину. Агенти можуть представляти соціальних, біологічних та фізичних осіб. Теоретичні припущення про математичну оптимізацію агентів в рівновазі замінюється на менш обмежувальний постулат агентів з обмеженою раціональністю з *адаптацією* до ринкових сил [10], у тому числі у контексті теорії ігор [11]. Починаючи з вихідних умов, які визначає Моделювач, заснована на агенті модель розвивається вперед у часі, рухаючись виключно агентською взаємодією. Кінцева мета наукового методу "... перевірити теоретичні результати, отримані з реальних даних в формах, які дозволяють емпірично підтверджувати теорії, які накопичуються з часом примножуються кожним дослідником, який виконував роботу належним чином, базуючись на роботі, яка була виконана до цього." [12]

Інструменти чисельного рішення включають, наприклад, програмне забезпечення для виконання різних матричних операцій (наприклад, матриця інверсії), а також для рішення систем лінійних і нелінійних рівнянь.

В області обчислювальної економіки спеціалізуються наступні журнали: Computational Economics, Journal of Applied Econometrics [13], Journal of Economic Dynamics and Control [14], Journal of Economic Interaction and Coordination [15].

Чисельні методи

Життєдіяльність суспільства, його найважливіших підсистем – виробництва, науки, освіти, оборони, управління і т.д. – все сильніше і сильніше залежить від ефективності застосування сучасних інформаційних технологій. Особливо це проявляється в сфері економіки і управління. Тому майбутні економісти повинні бути знайомі з можливостями інформаційних систем, методологією застосування інформаційних технологій і відповідних інструментальних засобів.

Комп'ютерна техніка і комп'ютерні технології впевнено входять у наше життя, істотно впливаючи на традиційні виробничі, управлінські й інші процеси. Інформація і засоби її обробки стають такою же частиною продуктивних сил суспільства, як, наприклад, енергетика або транспорт.

Як відомо, історично першою областю використання комп'ютерної техніки були обчислення. Потім комп'ютери стали активно застосовуватися й у багатьох інших областях, проте і зараз математичні обчислення залишаються одним з найпоширеніших застосувань персонального комп'ютера. Причина дуже проста: фахова діяльність багатьох спеціалістів пов'язана з різноманітними розрахунками. Наприклад, бухгалтер нараховує заробітну платню робітникам; економіст опрацьовує показники економічної діяльності підприємства з метою аналізу та прогнозування і т.д. Крім того, більшість прикладних (інженерних, економічних, соціологічних і ін.) задач зводиться до математичних, а виходить, для одержання кінцевого результату знову таки потрібні обчислення.

Традиційно для розрахунків застосовуються інформаційні технології на основі алгоритмічних мов програмування. При цьому розв'язання задачі розбивається на ряд етапів, серед яких виділяються:

- формулювання задачі (або фізична постановка);
- формалізація задачі (або математична постановка);
- вибір або розробка методу розв'язання;
- розробка алгоритму розв'язання задачі;
- написання програми на одній з алгоритмічних мов;
- введення програми в пам'ять ПК і налагодження програми (виправлення всіх помилок);
- тестування програми (перевірка достовірності одержуваних результатів);
- власне використання програми, тобто проведення розрахунків відповідно до вихідної постановки задачі.

Далеко не всі практичні задачі можуть бути вирішені за допомогою звичайних математичних методів. І тоді будуються чисельні алгоритми, реалізація яких без ПК дуже утруднена або взагалі неможлива.

Основні види чисельних методів [16-22]

Статистична обробка експериментальних даних зазвичай ґрунтується на граничних теоремах теорії ймовірностей та вимагає обчислення оцінок в порівнянні з простими формулами. Однак для підвищення якості оцінок

необхідна велика кількість даних, і обсяг обчислень може виявитися дуже великим. Тому чисельні методи тут націлені на скорочення обсягу обчислень при збереженні якості результатів. Найефективнішими чисельними методами в цій галузі є методи, які застосовують швидке перетворення Фур'є.

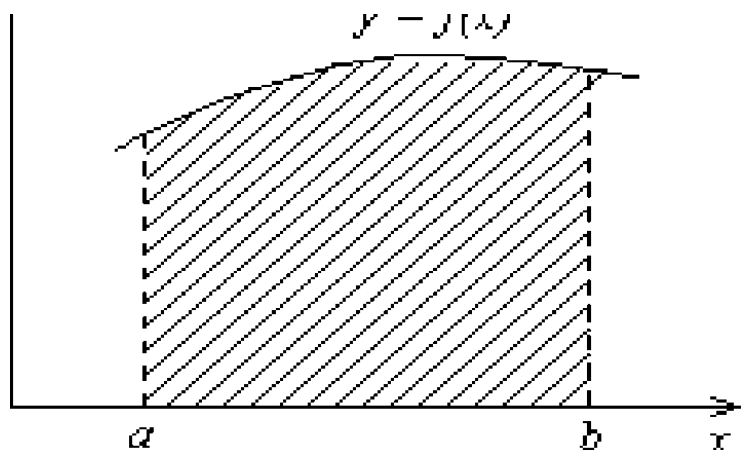
Для розв'язання задач апроксимації та обчислення функцій різних класів застосовують чисельні методи інтерполювання, найменших квадратів, ортогоналізації, врівноваження значень, умовної мінімізації та ін. Найактуальнішими є методи кусково-многочленною та раціональної спланованою апроксимації, а також адаптивної апроксимації та нелінійної за параметром апроксимації.

Чисельне інтегрування та диференціювання здійснюється на основі означення відповідних операцій, однак через необхідність економії обсягу обчислень та некоректність задачі диференціювання розроблено велику кількість чисельних методів для різних класів функцій та різного роду вихідних даних.

Основою чисельних методів розв'язання багатьох класів рівнянь є дискретизація задачі з наступним зведенням отриманих, загалом кажучи, нелінійних рівнянь до послідовності систем алгебраїчних рівнянь. У зв'язку з цим чисельні методи можна поділити за способом дискретизації на проекційні, скінченно-різницеві та проекційно-різницеві, а за способом розв'язання лінійної системи – на прямі, ітераційні та комбіновані методи.

Чисельні методи складають особливий клас методів розв'язання математичних задач [23]. У традиційній математиці зазвичай шляхом перетворення математичних виразів одержують так зване аналітичне розв'язання у виді остаточної формули або сукупності формул. При використанні чисельних методів застосовується інший підхід: алгоритм розв'язання являє собою ланцюжок обчислень, проведених із конкретними числами; саме розв'язання завжди представляється тільки у вигляді числа або таблиці чисел.

Покажемо це на прикладі розв'язання задачі про обчислення площ фігур. Легко і просто розв'язується ця задача, якщо фігура являє собою трикутник, паралелограм або коло. Ну, а якщо фігура більш складна – наприклад, обмежена віссю Ox , прямими $x = a$ і $x=b$ та графіком деякої функції $y = f(x)$ (рис. 1).



При використанні чисельних методів застосовується інший підхід: алгоритм розв'язання являє собою ланцюжок обчислень, проведених із конкретними числами; саме розв'язання завжди представляється тільки у вигляді числа або таблиці чисел. Покажемо це на прикладі розв'язання задачі про обчислення площ фігур. Легко і

Спочатку можна спробувати замінити реальну фігуру деякою іншою, площа якої легко обчислюється. Декілька варіантів такої заміни показані на рис. 2.

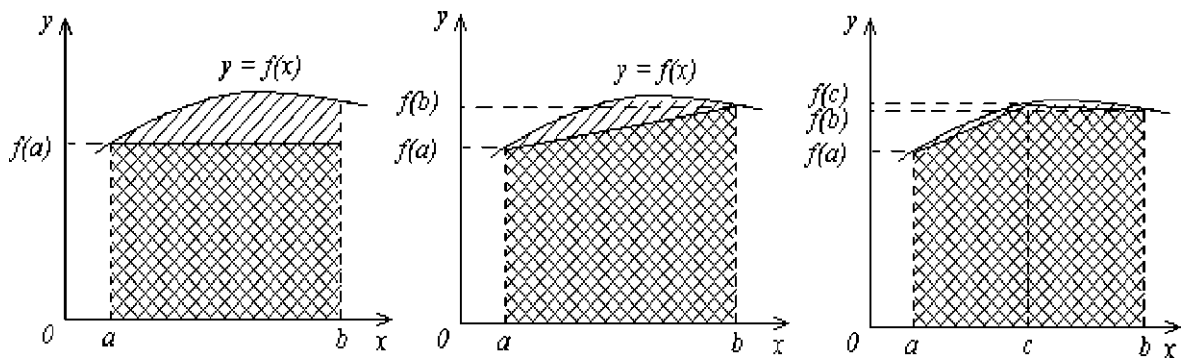


Рисунок 2. Варіанти наближеної заміни реальної фігури

У першому варіанті реальна фігура замінена прямокутником. Висота цього прямокутника лежить на кривій $y = f(x)$ і в силу цього легко обчислюється: вона дорівнює $f(a)$.

З огляду на те, що основа прямокутника дорівнює $(b - a)$, остаточно отримуємо $S = f(a)(b - a)$.

В другому варіанті реальна фігура замінена трапецією з основами $f(a)$, $f(b)$ і висотою $(b - a)$. Площа трапеції така

$$S = \frac{f(a) + f(b)}{2}(b - a).$$

У третьому варіанті реальна фігура замінена двома трапеціями. Їхня загальна площа обчислюється за аналогією з попереднім:

$$S = \frac{f(a) + f(c)}{2}(c - a) + \frac{f(c) + f(b)}{2}(b - c).$$

Як бачимо, у всіх трьох випадках обчислення не представляють труднощів, всі формули можна використовувати для обчислення наближеного значення площі реальної фігури. Проте, одного погляду на рисунок 1 достатньо, щоб зрозуміти, що найближче до точного значення одержується по третій з формул. Інтуїтивно зрозуміло також, що розбіжність між наближеним і точним значеннями площі буде ще менше, якщо розбити фігуру не на дві, а на три або більш трапецій. Цей факт доведений і теоретичним шляхом: при $n \rightarrow \infty$ розбіжність між наближеним і точним значеннями прямує до нуля. Звідси і практичний висновок: при збільшенні кількості розбивок n наближення стає усе більш точним.

Узагальнюючи все сказане, сформулюємо остаточно ідею наближеного обчислення площі фігури, показаної на рис. 1.

Розіб'ємо заданий відрізок $[a, b]$ на n рівних частин точками $x_i = a + ih$, де $h = (b - a)/n$, $i = 0, 1, \dots, n$. Після цього за допомогою ліній $x = x_i$ реальну фігуру розіб'ємо на n елементарних смужок і кожен таку смужку замінимо трапецією. Тоді шукану площу можна приблизно обчислити як суму площ маленьких трапецій, що утворилися:

$$S_4 = \frac{f(x_3) + f(x_4)}{2}h.$$

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_n,$$

де площу однієї трапеції, наприклад S_4 , можна обчислити як добуток напівсуми основ $f(x_3)$ і $f(x_4)$ на висоту $h = (b - a)/n$, тобто

Після підстановки виразів для S_j , S_2 , ..., S_n у формулу для S отримаємо

$$S \approx \left[\frac{f(x_0)}{2} + f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_{n-1}) + \frac{f(x_n)}{2} \right] \cdot h$$

або

$$S \approx \left[\frac{f(a) - f(b)}{2} + \sum_{i=1}^n f(x_i) \right] \cdot h.$$

Ця формула називається *формулою трапецій*. Використовуючи її, можна обчислити площу фігури, обмеженої будь-якою функцією $f(x)$ при будь-яких a , b , n незалежно від складності самої фігури.

Саме це характерне для всіх чисельних методів: один метод можна застосовувати для розв'язання великої сукупності конкретних задач (з аналізованого класу задач), причому сам алгоритм вирішення задачі базується на виконанні звичайних арифметичних операцій.

Чисельні методи і ПК

Практичне значення наведеної вище формули трапецій не обмежується обчисленням площ. Якщо ми пригадаємо геометричну інтерпретацію інтеграла, то зауважимо, що чисельне значення площі аналізованої нами фігури збігається зі значенням визначеного інтеграла

$$I = \int_a^b f(x) dx.$$

Таким чином, формула трапецій фактично стає наближеною формулою обчислення визначених інтегралів.

Для тих, хто ще не до кінця усвідомив переваги зазначеної формули, нагадаємо стандартну процедуру обчислення визначеного інтеграла. Спочатку необхідно знайти первісну або невизначений інтеграл від функції $f(x)$. Вид первісної і методика її знаходження залежить від вигляду функції $f(x)$. У деяких (самих простих) випадках первісна може виявитися табличною, в інших (більш реальних) випадках – доведеться скористатися інтегруванням частинами, різноманітними замінами і підстановками, розкладанням на найпростіші дроби й іншими хитрощами. Тільки після знаходження первісної можна підставити значення границь інтегрування у формулу Ньютона-Лейбниці й остаточно одержати шуканий визначений інтеграл. Процедура, як бачимо, не така й проста. До того ж, існують і такі функції $f(x)$, для яких аналітичний вираз первісної просто не існує, і тоді з надією знайти значення визначеного інтеграла доведеться попрощатися.

Тепер повернемося до формули трапецій. Для обчислення інтеграла за цією формулою потрібно лише обчислити значення підінтегральної функції в n

точках, обчислити суму цих значень та помножити її на h . Іншими словами, уся проблема зводиться до послідовності елементарних арифметичних операцій, причому ця послідовність ніяк не залежить від того, який вид має підінтегральна функція і чи можна для неї знайти первісну. Таким чином, одну й ту саму процедуру можна застосувати для обчислення будь-яких інтегралів. *Ще раз підкреслимо цю особливість чисельних методів: один метод можна застосовувати для розв'язання самих різних задач (з аналізованого класу задач), у тому числі і таких, що у рамках звичайної математики не вирішуються.*

Незважаючи на таку привабливу рису, відношення до чисельних методів довгий час було досить обережним. Справа в тому, що розв'язання, одержувані за допомогою цих методів, частіше усього – наближені, а не точні. Звичайно, точність у багатьох випадках можна підвищити (наприклад, збільшивши n в аналізованій вище задачі), але це призвело б до відповідного збільшення обсягу обчислень. Тому на практиці чисельні методи довго використовувалися тільки для оціночних, часто досить грубих, розрахунків.

Ситуація кардинально змінилася з появою комп'ютерів. Обчислювальна потужність останніх дала можливість застосовувати чисельні методи для вирішення багатьох задач із будь-якою точністю (у всякому разі – із точністю, необхідною для практичного застосування). До того ж, як правило, чисельні методи легко алгоритмізуються і програмуються. Один раз складена програма може бути використана багаторазово, причому вже без участі математиків і програмістів. При розв'язанні багатьох практичних задач на тому чи іншому етапі доводиться знаходити корені різноманітних рівнянь. У найпростіших випадках (лінійні, квадратні або біквадратні рівняння, а також тригонометричні, логарифмічні і показникові рівняння, які приводяться до стандартного виду) задача вирішується аналітично за допомогою звичайних математичних методів. В усіх інших випадках доводиться шукати корені рівняння за допомогою спеціальних чисельних методів. Саме на цьому випадку ми зупинимося докладніше.

Отже, будемо шукати розв'язання рівняння виду $f(x) = 0$. З самого початку підкреслимо: функція $f(x)$ може бути довільною, тому що чисельні методи припускають стандартну процедуру пошуку кореня, незалежно від конкретного виду рівняння.

Зауважимо, що існує досить багато різних методів розв'язання нелінійних рівнянь. Всі вони припускають, що корені рівняння попередньо відокремлені, тобто відомі такі інтервали числової осі, усередині кожного з яких є один і тільки один корінь рівняння. У деяких випадках інтервал ізоляції кореня може бути відомий із практичних міркувань (наприклад, якщо рівняння описує конкретний процес, на параметри якого накладені обмеження). У більш загальному випадку для виокремлення коренів використовуються спеціальні методики. Так, наприклад, при графічному виокремленні коренів будується графік функції $y = f(x)$ і виділяються відрізки, усередині яких міститься тільки одна точка перетину графіка з віссю Ox .

Отже, припустимо, що відомий інтервал $[a, b]$, усередині якого є один і

тільки один корінь рівняння $f(x) = 0$. Взагалі, це означає, що будь-яка точка даного інтервалу може розглядатися як наближене значення кореня. Похибка цього наближення не перевищує довжини інтервалу $b - a$: адже істинне значення кореня знаходиться усередині інтервалу, а значить відстань між ним і будь-якою точкою інтервалу — не більше довжини самого інтервалу. Таким чином, чим вужчий інтервал ізоляції кореня, тим із більшою точністю можна приймати за корінь одну з точок інтервалу. Саме на цьому факті засновані більшість методів уточнення попередньо відокремлених коренів. Фактично мова йде про поступове звуження інтервалу ізоляції кореня доти, поки його довжина стане менше деякого наперед заданого числа.

Одним із найбільше простих і поширених методів уточнення коренів є метод половинного поділу (блок-схема алгоритму на рис. 3).

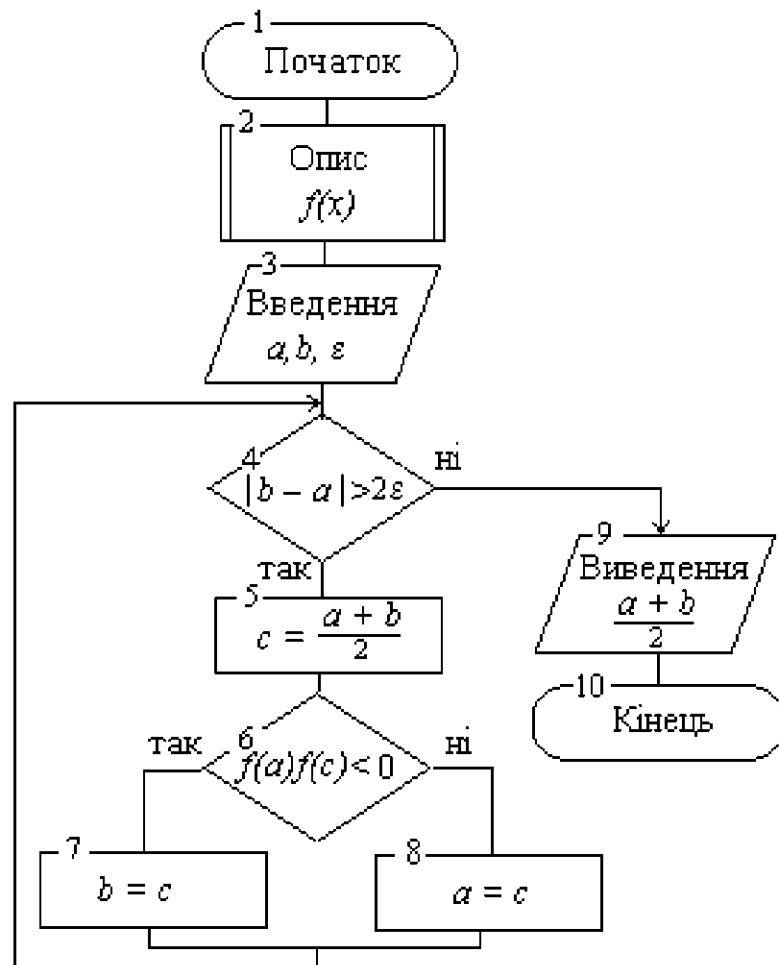


Рисунок 3. Блок-схема алгоритму методу половинного поділу

Суть методу полягає в наступному. Якщо усередині інтервалу $[a, b]$ є один і тільки один корінь рівняння $f(x) = 0$, то на кінцях інтервалу функція $f(x)$ приймає значення протилежних знаків, тобто $f(a) f(b) < 0$. Поділимо відрізок $[a, b]$ на дві рівні частини точкою $c = (a + b)/2$. Очевидно, що шуканий корінь буде знаходитися в одному із двох нових інтервалів $[a, c]$ або $[c, b]$. Довідатися, у якому саме, просто: якщо умова $f(a) f(c) < 0$ справедлива, то корінь знаходиться в інтервалі $[a, c]$, якщо ні – то в інтервалі $[c, b]$. Таким чином, проста процедура (обчислення точки c і перевірка умови $f(a) f(c) < 0$ дає

можливість знайти новий інтервал ізоляції кореня, причому його довжина вже стала вдвічі меншою порівняно з вихідною. До нового інтервалу застосуємо ту ж саму процедуру. І так далі, доти, поки довжина інтервалу стане менше 2. Середина останнього інтервалу і може бути прийнята за корінь, причому похибка знайденого значення не перевищує 1.

Метод половинного поділу простий і надійний (завжди приводить до кореня). Проте сходиться він повільно, тому при збільшенні точності значно зростає обсяг обчислювальної роботи. При "ручних" розрахунках ця проблема була досить серйозною, із появою комп'ютерів ситуація змінилася. Окрім методу половинного ділення для розв'язування нелінійних рівнянь можна використовувати і багато інших методів, зокрема, ітераційні методи, в яких задається початкове наближення кореня, а потім послідовно обчислюються наступні наближення за певною формулою (методи простої ітерації, Ньютона, хорд і інші). На закінчення зазначимо, що чисельні методи придатні не тільки для обчислення інтегралів і розв'язування нелінійних рівнянь. До переліку задач, розв'язуваних за їх допомогою, входять апроксимація функцій, диференціювання, розв'язання систем рівнянь, пошук екстремумів, розв'язання звичайних диференціальних рівнянь і рівнянь в часткових похідних, розв'язання інтегральних рівнянь і багато чого іншого. Проблеми такого типу виникають як при розв'язанні чисто наукових задач, так і в конкретних практичних застосуваннях. Без персональних комп'ютерів ці проблеми ще довго залишалися б невирішеними. Чисельні методи по визначенню є наближеними. Замість того щоб розшукувати складні функції, що задовольняють диференціальним рівнянням, що описує досліджуване явище, і крайовим умовам, вводять набір відомих простих (дуже часто – кусково-неперервних) базисних функцій, за допомогою яких знаходять похідні, що входять в диференціальні рівняння або виразу механічної енергії досліджуваного об'єкта. В результаті безперервна функція одного або декількох аргументів представляється її значеннями в деяких точках (вузлах), а операції аналізу безперервних функцій замінюються алгебраїчними діями зі значеннями функцій в обраній сітці вузлів. Таким чином, чисельні методи призводять рішення фізико-математичних задач до найпростіших обчислювальних процедур, які виконуються, як правило, за допомогою ЕОМ.

Метод кінцевих різниць (МКР) є наближеним методом розв'язання крайових задач для диференціальних рівнянь. Його ще називають методом сіток. Істота методу наступне. На дану область (вісь стрижня, середину поверхню оболонки або об'ємне тіло) наносимо сітку вузлів (відповідно одновимірну, двовимірну або тривимірну). Похідні, які входять в диференціальні рівняння, що описують деформування елементів будівельних конструкцій, і крайові умови наближено замінюємо відповідними різницевиими співвідношеннями за формулами чисельного диференціювання та, отже, висловлюємо через невідомі значення шуканої функції в вузлах сітки. В результаті зводимо задачу до системи алгебраїчних рівнянь, в якій невідомими величинами є значення шуканих функцій у вузлах раніше створеної сітки. Вирішивши цю систему і, при необхідності, отримавши інтерполяцією вузлові

значення шуканих функцій в проміжках між вузлами сітки, в результаті маємо наближене чисельне рішення поставленого завдання.

Суттєва перевага методу скінченних різниць по відношенню до інших чисельних методів - це несильна залежність використовуваного алгоритму від виду диференціальних рівнянь і крайових умов задачі. Недолік же полягає в тому, що доводиться вирішувати системи алгебраїчних рівнянь високих порядків. Цей недолік пом'якшується тим, що матриці систем рівнянь – неповністю заповнені (стрічкові).

Список використаних джерел

1. Computational Economics. Scott E. Page, 2008. "agent-based models," The New Palgrave Dictionary of Economics, 2nd Edition.
2. The New Palgrave Dictionary of Economics, 2008. 2nd Edition: "computation of general equilibria" by Herbert E. Scarf.
3. Hans M. Amman, David A. Kendrick, and John Rust, ed., 1996.
4. Ray C. Fair "Computational Methods for Macroeconometric Models," Hans M. Amman, David A. Kendrick, and John Rust, ed., 1996.
5. Vassilis A. Hajivassiliou, 2008. "computational methods in econometrics," The New Palgrave Dictionary of Economics, 2nd Edition.
6. Hans M. Amman, David A. Kendrick, and John Rust, ed., 1996.
7. Scott E. Page, 2008. "agent-based models," The New Palgrave Dictionary of Economics, 2nd Edition.
8. Joseph Y. Halpern, 2008. "computer science and game theory," The New Palgrave Dictionary of Economics, 2nd Edition.
9. Journal of Applied Econometrics - Wiley Online Library. onlinelibrary.wiley.com. 2011. Прочитовано October 31, 2011.
10. Journal of Economic Dynamics and Control, including Aims & scope link.
11. Journal of Economic Interaction and Coordination. springer.com. 2011. Прочитовано October 31, 2011.
12. Вступ до числових методів : навч. посіб. для вищ. закл. освіти / П. І. Каленюк, В. А. Бакалець, І. І. Бакалець, Н. В. Горбачова, П. Л. Сохан; Держ. ун-т "Львів. політехніка". - Л., 2000. - 145 с. - (Математика для інженерів).
13. Чисельні методи : [навч. посіб.] / М. В. Кутнів. – Л. : Вид-во "Растр-7", 2010. – 288 с.
14. Чисельні методи : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Г. Г. Цегелик; Львів. нац. ун-т ім. І.Франка. - Л., 2004. - 407 с.
15. Фельдман, Л. П. Чисельні методи в інформатиці: підручник / Л. П. Фельдман, А. І. Петренко, О. А. Дмитрієва. – К. : Видавнича група ВНУ, 2006. – 480 с.
16. Бахвалов, Н. С. Численные методы: учеб. пособие / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. — М. : Наука, 1987. — 600с.
17. Самарский, А. А. Численные методы : учеб, пособие для вузов / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М. : Наука, 1989. –432 с.
18. Иванов В. В. Методы вычислений на ЭВМ: Справочное пособие / В. В. Иванов –К. : Наукова думка, 1986. – 564 с.
19. Карімов, І. К. Інформаційно-обчислювальні системи в економіці : навч. посібник / І. К. Карімов. – 2-е вид., перероб. і доп. – Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2013. – 279 с.

Дрозд О.П.

Старший викладач кафедри інформаційних систем в економіці,
Чернігівський національний технологічний університет

Сподаренко І.Й.

Асистент кафедри інформаційних систем в економіці,
Чернігівський національний технологічний університет

АСПЕКТИ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНИХ ОНЛАЙН-КУРСІВ

Сучасне навчання важко уявити без використання інформаційних технологій. Безліч веб-ресурсів містять навчальні матеріали; соціальні мережі, електронна пошта, системи онлайн-комунікацій дозволяють підтримувати обмін інформацією та спілкування студентів і викладачів. Студенти можуть вибрати те джерело знань, де інформація подається у кращий для них спосіб. І зовсім не обов'язково, що це джерело знань буде у тому навчальному закладі, де вони вчаться.

Може скластися уявлення, що сьогодні викладачі вже не потрібні, бо "усе є в Інтернеті", однак багаторічна світова практика використання технологій дистанційного навчання свідчить про те, що викладач залишається безцінним компонентом процесу навчання. Наприклад, якщо поцікавитися історією розвитку та використання систем масових відкритих онлайн курсів (англ. MOOC- massive open online course), то можна прийти до цікавих висновків. Сьогодні це одні з найбільш популярних систем для навчання, особливо самостійного. Coursera, Udacity, MIT OpenCourseWare, Khan Academy, Prometheus та інші [1] мають величезну кількість курсів, платні та безкоштовні режими навчання, можливість отримання відповідного сертифікату. Мільйони користувачів по усьому світу використовують ці системи для навчання. Над створенням курсів працюють цілі колективи високопрофесійних фахівців. Водночас самі користувачі та власники систем признають: не завжди якість курсів відповідає рівню знань і компетенцій, що заявлені у виданому сертифікаті. Немає гарантій, що підприємства і організації приймуть такий сертифікат до уваги під час працевлаштування. Але головною завадою отримання якісних знань на онлайн-курсах за відгуками самих користувачів є необхідність чіткого дотримання постулатів: самоорганізації та самодисципліни.

Натомість у традиційному академічному навчанні дотримання організації та дисципліни у значній мірі покладається на навчальний заклад і викладачів. Існує багато педагогічних, організаційних, технологічних підходів, що дозволяють підвищити якість викладання матеріалу, зацікавленість студентів, їх мотивацію у навчанні. Здібність якісно навчати і якісно вчитися фактично є запорукою успішної підготовки висококваліфікованих фахівців. Студент, який буде нехтувати поняттям "вчитися", не здобуде необхідних знань і тільки марно витратить часові та матеріальні ресурси, як свої, так і оточуючого середовища. Викладач, який буде нехтувати поняттям "навчати", не зможе передати знання та вміння студентам, і так само марно витратить ресурси, але при цьому ще

також і нашкодить розвитку суспільства, створюючи негативне відношення до навчання.

Сучасний викладач повинен не тільки володіти високим рівнем знань у своїй сфері, він повинен вміти донести ці знання студентам. Від цього залежить не тільки визнання викладача як фахівця високого рівня, від цього залежить також і визнання та популярність навчального закладу, а відтак і прагнення абітурієнтів навчатися у ньому. І якщо ми живемо у світі інформаційних технологій, то їх просто необхідно використовувати у навчанні щоб бути конкурентоспроможними у сфері освіти.

Численні веб-ресурси із відкритими навчальними матеріалами корисно розглядати як безмежну вільну бібліотеку для самостійного додаткового опрацювання. Навчальні заклади часто розгортають власні веб-ресурси для підготовки своїх студентів. На цих веб-ресурсах можуть працювати спеціалізовані системи для дистанційного онлайн-навчання (англ. LMS - Learning Management System). Ці системи використовуються або для організації дистанційної форми навчання, або як засоби для використання технологій дистанційного навчання для забезпечення навчання в різних формах [2]. Узагальнені вимоги, які зазвичай висуваються до роботи цих систем, це:

- збереження великих обсягів інформації, представленої у різних форматах;
- системний підхід до використання інформації;
- контроль доступу до інформації;
- наявність засобів контролю навчання студентів.

Ще одна важлива вимога, яка спливає після початку використання цих систем, це: *наявність засобів моніторингу та контролю використання онлайн-курсів, а відтак і моніторингу роботи викладачів і студентів*. Про існування цієї вимоги свідчать численні пости адміністраторів систем у різних тематичних форумах. Ця вимога з'являється не просто як бажання керівництва навчального закладу мати докладну інформацію про усі аспекти роботи підлеглих ланок. У першу чергу це необхідність у інструменті аналізу ефективності використання системи дистанційного навчання в учбовому процесі. Можна назвати такі основні напрями використання цього інструменту:

- моніторинг відвідуваності онлайн-курсів і веб-ресурсу у цілому;
- інформаційне забезпечення усіх дисциплін, які викладаються у навчальному закладі;
- аналіз якісного наповнення онлайн-курсів;
- аналіз ефективності роботи викладачів.

Подальший аналіз аспектів ефективності використання системи дистанційного онлайн-навчання буде розглядатися на основі трирічного досвіду адміністрування системи Moodle (англ. Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) [3] у Чернігівському національному технологічному університеті. Moodle є досить популярною у світі, використовується більш ніж у 230 країнах, тільки зареєстрованих ресурсів із системою близько 100 000 [4]. Популярність Moodle можна пояснити такими причинами:

- відкритий код. Користувачі можуть самостійно дописати і модернізувати свою систему;
- потужний інструментарій для подання учбових матеріалів і контролю знань;
- система може бути розширена за допомогою додаткових плагінів;
- постійна підтримка і випуск оновлень системи.

Моніторинг відвідуваності онлайн-курсів і веб-ресурсу у цілому

Відвідуваність сайту є показником його популярності. Розробники і адміністратори сайтів вдаються до різних технологічних, маркетингових, організаційних заходів щоб підвищити відвідуваність. Реєстрація сайту в різних аналітичних системах, наприклад, Google Analytics, дозволяє отримати детальну статистику з відвідуваності сайту, а відтак з'ясувати, які сторінки відвідуються частіше, які категорії користувачів більше цікавляться тією чи іншою інформацією тощо.

В системах дистанційного онлайн-навчання відвідуваність означає зацікавленість студентів у тій інформації, що надається викладачами. Система Moodle має потужні засоби збору статистики майже про всі операції, які здійснювалися у системі: вхід, створення даних, редагування, видалення, перегляд та інше. В базі даних в окремих таблицях накопичуються щоденні дані, а також автоматично підсумовуються і зберігаються дані за тижні і місяці. По накопиченим даним можна отримати різну статистику в розрізі по користувачам, курсам і навіть елементам курсів (рис.1).

Время	Полное имя пользователя	Затронутый пользователь	Контекст события	Компонент	Название события	Описание	Источник	IP-адрес
13 August 2018, 22:53	Гость	-	Файл: ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 СИСТЕМА ДОПУСКІВ ТА ПОСАДОК ГЛАДКИХ З'ЄДНАНЬ	Файл	Модуль курсу просмотрен	The user with id '1' viewed the 'resource' activity with course module id '46356'.	web	178.154.200.23
13 August 2018, 22:53	Гость	-	Категория: Зведені потоки (читаються для кількох спеціальностей)	Система	Просмотренные категории	The user with id '1' viewed the course category with id '25'.	web	178.154.200.23
13 August 2018, 22:53	Гость	-	Главная страница	Система	Курс просмотрен	The user with id '1' viewed the course with id '1'.	web	141.8.132.5

Рисунок.1. Приклад Журнала подій Moodle

Недоліками статистики в Moodle, хоча і не критичними, можна назвати такі:

- *Збільшення навантаження на сервер.* Швидкодія системи знижується, збільшується розмір бази даних. В залежності від встановленого періоду збору статистики, кількості та частоті роботи користувачів розмір таблиць із логами операцій може сягати кількох сотень тисяч, або кількох мільйонів записів. Цей недолік може вирішуватися тільки встановленням потужного серверу із достатніми ресурсами.

- *Нестача потрібних статистичних звітів.* Moodle має деяку кількість статистичних звітів, яких може і вистачити для невисоких потреб у

моніторингу роботи системи (Рис.2). Ці звіти можуть формуватися у окремих курсах і бути цікавими для викладачів, або формуватися на рівні усієї системи і використовуватися адміністратором системи. На жаль, часто ці звіти подають інформацію не у тому вигляді, який потрібен. Цей недолік може вирішуватися додатковими плагінами. Один із таких плагінів - блок Configurable Reports [5] є надзвичайно корисним для адміністратора. Його особливість у тому, що можна написати будь-які SQL-запити до бази даних Moodle і отримати дані у потрібному вигляді.

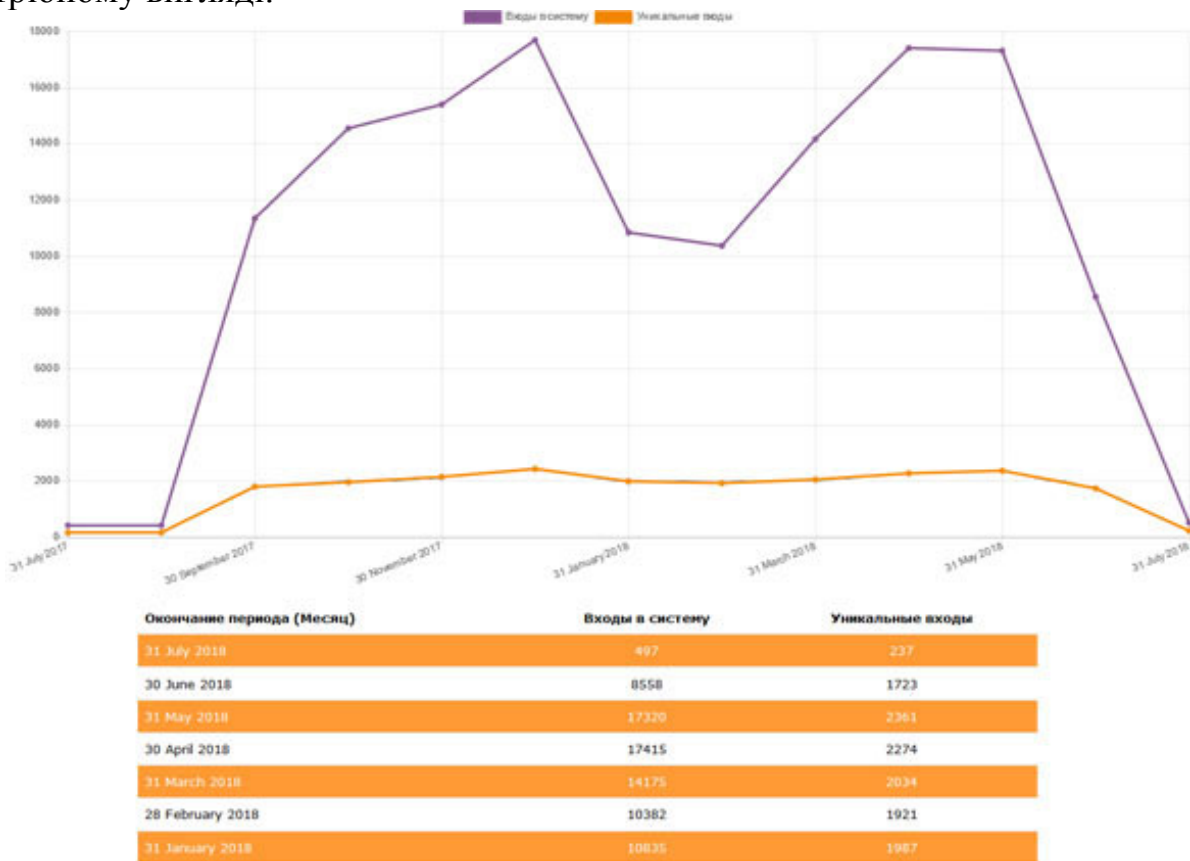


Рисунок.2. Приклад статистики входів у систему

Відвідуваність системи онлайн-курсів містить досить багато даних для аналізу. Спробуємо розібрати кілька аспектів відвідуваності:

1. *Загальна відвідуваність системи.* В Moodle можна виділити два основних способи входу: авторизований і гостьовий. Якщо навчальний заклад використовує систему здебільшого для своїх студентів, то більшу цікавість представляє собою саме авторизований вхід. Вхід в систему ще не означає, що студент увійшов попрацювати з навчальними матеріалами, для цього він повинен ще також далі увійти в потрібний курс. Тому не варто робити висновок, що кількість відвідувань системи дорівнює кількості працюючих студентів. Але у відношенні до загальної кількості зареєстрованих користувачів цей параметр можна розглядати в якості популярності системи у навчальному закладі. Щодо питань, що студенти можуть заходити за звітній період кілька разів, та ще і з різних IP-адрес, то засобів статистики Moodle цілком достатньо, щоб виділити саме кількість користувачів, які увійшли, а не входів.

2. *Відвідуваність курсів.* Може свідчити про корисність і популярність курсів. Ця характеристика також має свої допуски на точність оцінювання. Причини цьому можуть бути такі:

- щоб студент почав працювати з матеріалами курсу, він повинен відкривати елементи курсу: скачувати файли, відкривати веб-сторінки або лекції, переглядати відео, проходити тести. Але деяка частина студентів може не відкривати елементи, а просто вийти із курсу. Такою стратегією "вхід-вихід" для підвищення відвідуваності курсу можуть користуватися недоброчесні викладачі, примушуючи студентів хоч раз зайти в курс;

- відвідуваність курсу також може бути штучно збільшена за рахунок неефективного контролю знань, наприклад тестування, коли студент змушений багаторазово проходити тест, щоб пройти завищений поріг оцінки.

Тому відвідуваність курсів повинна розглядатися з точки зору двох параметрів, які зберігає система: читання і запис. Читання означає перегляд елементів курсу, скачування файлів, а запис – це все, що зберігається у результаті діяльності студента: результати контролю, записи в чаті, форумі та інше. Таким чином ці два параметри, які можна об'єднати в поняття "*активність*". дозволяють зробити більш точний висновок про популярність курсу і його проблеми. Moodle має деякі стандартні засоби отримання даних по цим параметрам (Рис.3), але щоб отримати їх у потрібному вигляді краще скористатися SQL-запитами блоку Configurable Reports.

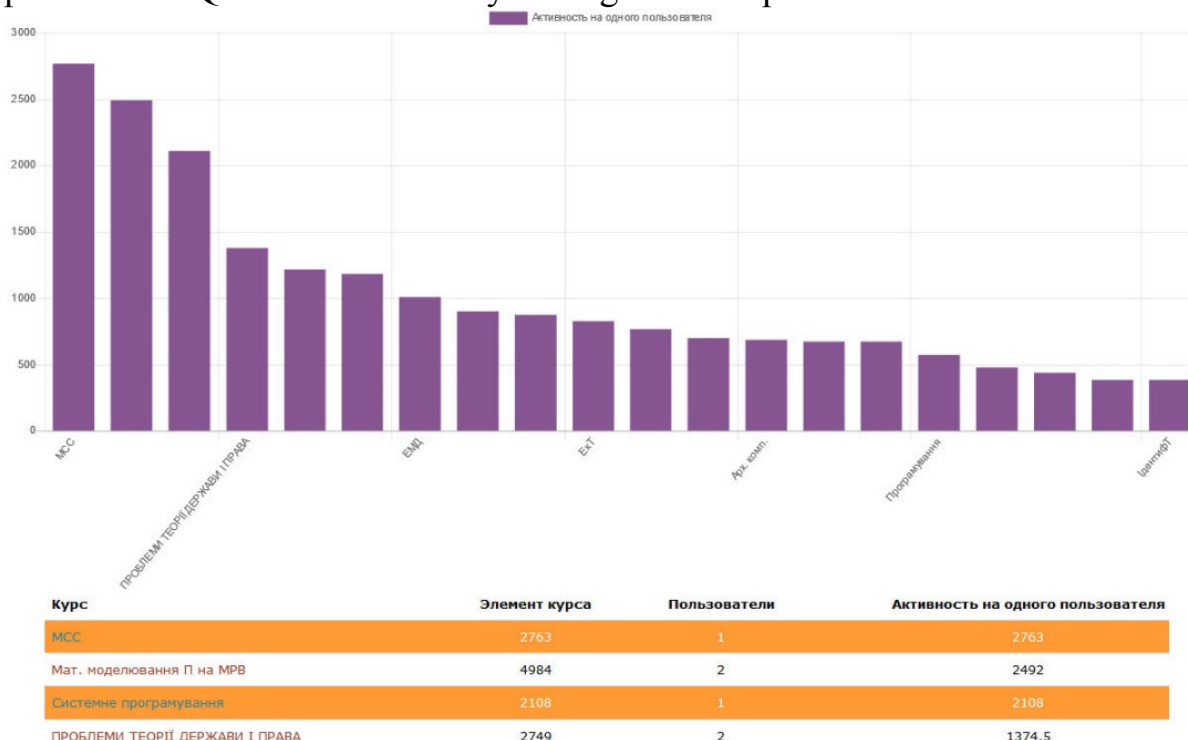


Рисунок.3. Приклад статистики активності за період

Інформаційне забезпечення усіх дисциплін, які викладаються у навчальному закладі

Студенти отримують знання із таких джерел: викладач, Інтернет, бібліотека, інші джерела. Дуже привабливою ідеєю є об'єднання цих джерел у одному онлайн-курсі, де інформація буде належним чином підібрана,

впорядкована, структурована, будуть засоби контролю знань, а в ідеалі ще будуть реалізовані особисті траєкторії навчання. Таким чином, викладання традиційних дисциплін буде підкріплено сучасними інформаційними технологіями, що дозволить частково розвантажити викладачів, підвищити відповідальність студентів в частці самостійної роботи, зменшити вірогідність негативного впливу людських факторів на навчання, і в результаті підвищити успішність і якість навчання.

Цей перспективний шлях має цілу низку труднощів:

Опір викладачів. Сучасний викладач має велику кількість обов'язків з наукової, методичної, організаційної роботи. Тепер з'являється ще один обов'язок: розробка і підтримка дистанційних онлайн-курсів. Звісно, це спочатку викликає спротив. Цей спротив долається роз'яснювальною роботою і адміністративними заходами. Ці два шляхи дають кількісний і якісний ефект. Наприклад, включення роботи з дистанційними курсами до переліку обов'язкових робіт викладача, а відтак і до впливу на загальний рейтинг викладача у навчальному закладі, привело до помітного зростання кількості дистанційних курсів. І хоча у більшості ці курси являють собою лише збірку файлів, тим не менше студенти вже можуть отримати якусь інформацію із одного джерела. У той же час ряд роз'яснювальних семінарів на кафедрах із демонстрацією можливостей системи привів до різкого зростання якісного наповнення курсів. Викладачі зрозуміли переваги використання технологій дистанційного навчання і почали вже самостійно вдосконалювати курси.

Нестача часу і слабкий рівень викладачів у інформаційних технологіях. Розробка дистанційних курсів вимагає тривалого часу і достатніх знань для роботи з даними різних форматів. Як показує практика, наповнення курсу файлами, веб-сторінками, лекціями, відео, тестами займає для однієї людини щонайменше три місяці. Створений курс не можна залишати без нагляду викладача: потрібно вчасно оновлювати матеріал, виконувати спілкування із студентами, проводити контроль знань. Не більше третини викладачів готові активно підтримувати дистанційні курси в актуальному стані.

Авторство курсів. Кожен викладач вкладає в дистанційний курс той матеріал і ту методику викладання, які він вважає за краще. Виникає багато питань при "міграції" викладачів при щорічному розподілі навантаження: викладач може вже не читати відповідну дисципліну і тому йому немає сенсу підтримувати відповідний дистанційний курс. Здоровий глузд підказує не видаляти створений курс, а підписати на нього з усіма відповідними правами нового викладача. При цьому попереднього викладача "виписувати" з курсу не варто, тому що наприклад при підготовці річної статистики з якісної роботи викладачів слід враховувати працю усіх авторів курсу. Досить просто підібрати відповідні права, тим більше що в Moodle існує досить розвинена система прав користувачів, на основі якої можна створювати власні набори прав. На практиці викладачі далеко не завжди самостійно займаються адмініструванням прав доступу до курсу, тим само часто самі спотворюють власну річну статистику.

Як показує практика, подолання труднощів, що виникають на шляху розробки і використання дистанційних онлайн-курсів в якості доповнення

традиційних дисциплін, залежить тільки від бажання викладачів використовувати сучасні інформаційні технології у своїй викладацькій діяльності.

Що стосується розробки якісних сертифікованих дистанційних курсів, спрямованих на використання в дистанційній формі навчання, то тут потрібна робота цілого колективу фахівців: викладачів та спеціалістів з інформаційних технологій.

Аналіз якісного наповнення онлайн-курсів

Ефективне використання системи дистанційного навчання залежить від якісного наповнення створених курсів. Мова у даному випадку йде не про якість навчальних матеріалів, а про зручність, привабливість, зрозумілість їх представлення. Можна просто в курсі викласти файли підручників та методичних вказівок, а можна подати матеріали порційно, використовуючи різні види елементів курсу, а також додати засоби автоматичного проміжного і підсумкового контролю засвоєних знань. У першому випадку витрачаємо мінімум зусиль на створення електронного курсу але отримуємо просто електронну бібліотеку. У другому випадку зусиль витрачається значно більше і викладач отримує електронного помічника, який надалі буде значно його розвантажувати. Також у другому випадку студентам буде цікавіше працювати із матеріалом, що однозначно вплине на якість і успішність навчання.

Для оцінювання якісного наповнення онлайн-курсів можна використовувати різні моделі. Розглянемо приклади двох із них.

Проста модель. Орієнтована на простоту висновків по курсу. На початку впровадження системи дистанційного навчання в навчальному закладі слід враховувати, що переважна кількість викладачів не вміє працювати із системою і часто навіть слабо володіє інформаційними технологіями. Тому курси можна поділити на 3 рівні:

- порожній курс, у якому є якась супроводжуюча інформація, але навчальних матеріалів по суті немає. Наприклад, є тільки опис курсу, навчальна та робоча програми, література. Для студентів такий курс малокорисний.

- неструктурований курс, у якому є навчальні матеріали, але вони подані без якихось вказівок у послідовності вивчення, немає жодного автоматичного контролю знань. На практиці такі курси виглядають як електронні бібліотеки, де представлені файли підручників, методичних вказівок тощо.

- структурований курс, у якому навчальні матеріали подані у зручному вигляді, за допомогою різних елементів курсу, з привабливим оформленням, використовуються мультимедійні матеріали і контроль знань.

Така модель дозволяє зробити прості висновки: курс добрий чи ні. Недолік цієї моделі: велика доля суб'єктивної оцінки перевіряючого, а від цього і неточність оцінювання. Слід зазначити, що автоматичної перевірки, яка могла би віднести курс до якогось із рівнів, в Moodle немає, тож зміст курсів перевіряється вручну.

Детальна рейтингова модель. Орієнтована на детальну оцінку усіх елементів курсу і схожа на ту, що використовується при сертифікації курсів.

Формула для розрахунку рейтингової оцінки курсу враховує кількість реалізованість компонентів курсу та складність їх реалізації:

$$P = \sum_{i=0}^n K_i E_i \quad (1)$$

де P – рейтингова оцінка;

E – наявність компоненти курсу, приймає значення 0 або 1;

K – коефіцієнт складності реалізації компоненти курсу за допомогою відповідного елемента курсу у системі (формат подання). Приймає значення від 1 до 3;

N – кількість компонентів курсу.

Оцінювання компонентів курсу наведено у таблиці 1

Таблиця 1. Оцінювання компонентів курсу

№	Компонента курсу	Елемент курсу (формат подання)	Коефіцієнт К
<i>Опис курсу</i>			
1	Анотація і автори	Опис курсу	1
2	Робоча програма	Файл	1
3	Критерії оцінювання	Файл	1
		Веб-сторінка	2
<i>Література</i>			
4	Список літератури	Файл	1
		Веб-сторінка	2
5	Методичні вказівки (навчальні посібники)	Файл (веб-посилання)	1
		Веб-сторінка	2
6	Глосарій	Глосарій	3
<i>Структура і зміст курсу</i>			
7	Розподіл матеріалу по темам (модулям, видам робіт)		1
8	Теоретичний матеріал (конспект лекцій)	Файл	1
		Веб-сторінка	2
		Лекція	3
9	Завдання (лабораторні, практичні, індивідуальні)	Файл	1
		Веб-сторінка	2
		Завдання	2
10	Посилання на додатковий матеріал	Веб-посилання	3
11	Візуалізаційні матеріали (відео, аудіо)	Веб-посилання	2
		Сторінка	3
12	Змістовні назви тем і елементів курсу		2
13	Пояснення для студентів щодо роботи з матеріалом	Сторінка, Напис, Опис елемента	3
<i>Контроль знань</i>			
14	Перелік питань чи завдання (до модуля, заліку, іспиту)	Файл	1
		Веб-сторінка	2
15	Тести	Тест	3
<i>Додаткові елементи, привабливе оформлення</i>			
16	Використання різних елементів для привернення уваги, розташування елементів, шрифти, колір оформлення		2

Оцінювання відповідно наведеної таблиці є більш точним, ніж у простій моделі і має ту перевагу, що викладач бачить шляхи доопрацювання курсу. Недоліком моделі є великі часові витрати на перевірку кожної компоненти курсу. Ще раз згадаємо, що перевірка виконується вручну. Практика показує, що зробити правильну оцінку можна тільки після ретельної перевірки, тому що часто трапляються випадки, коли компонента присутня у курсі, але її зміст не відповідає потрібному. Можна навести приклади такої невідповідності:

- у критеріях оцінювання замість пояснень студентам про оцінки за види робіт у курсі подається стандартна загальновідома таблиця оцінок ECTS;

- неправильно створений елемент курсу. Наприклад, правильно створений елемент Глосарій повинен автоматично показувати контекстну підказку до тексту. Натомість викладачі або просто подають глосарій як файл, або у елементі Глосарій не заповнюють базу контекстних слів і відповідних визначень;

- незаповнені елементи курсу. Наприклад, може бути створена веб-сторінка для теоретичного матеріалу, але заповнена усього лише одним-двома реченнями. Теж саме можна сказати і про елемент Лекція, який повинен містити веб-сторінки із теоретичним матеріалом: елемент Лекція може бути присутній, а сторінки у ньому відсутні;

- мультимедійні вставки не працюють, веб-посилання вказують неправильні шляхи;

- тест без питань. В Moodle елементи Тест повинні брати питання із спеціальної бази питань. Часто буває таке, що база питань відсутня, або у Тесті не визначено, які питання брати із бази. Також трапляються випадки, коли у тесті визначено тільки одне-два питання, і при цьому тест подається як окремий контроль знань з цілої великої теми.

Незважаючи на складності перевірки та оцінювання курсів, ця робота є важливою, тому що дозволяє оцінити як якісне наповнення курсів, так і роботу викладачів.

На рис. 4 наведено фрагмент таблиці з результатами детальної перевірки якісного наповнення курсів. На цьому рисунку також представлено приведення рейтингової оцінки курсу до відповідних трьох рівнів простої моделі оцінювання. Діапазони [0...5], [6...15], [16...35] були визначені за результатами аналізу більше ніж 1500 курсів в системі дистанційного навчання Чернігівського національного технологічного університету відповідно оцінок у табл. 1.

За результатами таблиці на рисунку 4 можна побудувати зведену таблицю з підсумками по кафедрам і загальним рейтингом кафедри у відношенні до створення дистанційних курсів (табл. 2).

id	Курс	Рівень 1- 2- 3-	Рейтинг 0-5 6-15 16-35	Опис курсу			Література			Структура і зміст курсу						Контроль знань		Дода Дод. елем., привабливе оформлення	
				Анотація і автори	Робоча програма	Критерії оцінювання	Список літератури	Метод. вказ. (Навч. пос.)	Госларій	Розп. матеріалу по темам (модулям, видам робіт)	Теоретичний матеріал (конспект лекцій)	Завдання (лаб., практик., індр.)	Посилання на дод. матеріал	Візуалізаційні матеріали (відео, аудіо)	Змістовні назви тем і елементів курсу	Пояснення для студентів	Перелік питань чи завд. (до модуля, заліку, іспиту)		Тести
760	Спеціалізований рухомий склад автотранспортних і ван	3	19	1	1	2	2	1			1	1	2		2	2	2		2
761	Процеси і обладнання високоефективних методів оброб	3	28	1	1	2	2	1	3		1	1	2	3	2	2	3		2
763	Основи систем автоматизованого проектування (AutoCA	3	27	1	1	2	2	1	3		1	2	2	3	2	2	3		2
764	Основи систем автоматизованого проектування автомо	3	29	1	1	2	2	1	3		1	2	2	3	2	2	3		2
766	Системи автоматизованого проектування верстатів та ін	3	21	1	1	2	2	1	3		1	1	2			2	3		2
767	Підйомно-транспортне обладнання і роботи	3	24	1	1	2	2	1			1	1		3	3	2			2
768	Обладнання та транспорт механоскладальних цехів	3	19	1	1	2	2	1			1	1	2		3	2			2
769	Верстати з числовим програмним керуванням та верста	3	23	1	1	2	2	1	3		1	1	2	3	2	2			2
770	Системи керування верстатів та верстатних комплексів	3	20	1	1	2	2	1			1	1	2	3	2	2			2

Рис.4. Фрагмент таблиці з результатами детального оцінювання курсів

Таблиця 2. Підсумки рейтингової оцінки кафедр у відношенні до створення дистанційних курсів

Кафедра	Рейтинг (0-35)	Кількість по рівням			Усього курсів	Відсотки по рівням		
		1	2	3		% 1 рів	% 2 рів	% 3 рів
Автомобільного транспорту та галузевого машинобудування	20,75	1	3	72	76	1,32	3,95	94,74
Аграрних технологій та лісового господарства	6,11	0	64	2	66	0	96,97	3,03
Біомедичних радіоелектронних апаратів та систем	12,73	0	14	16	30	0	46,67	53,33
Бухгалтерського обліку, оподаткування та аудиту	13,22	0	31	28	59	0	52,54	47,46
Геодезії, картографії та землеустрою	10,53	0	55	15	70	0	78,57	21,43
Економічної теорії	31,27	0	0	11	11	0	0	100
Електричних систем і мереж	21,07	0	0	42	42	0	0	100
Зварювання та автоматизованого проектування будівельних конструкцій	10,21	1	64	17	82	1,22	78,05	20,73
Іноземних мов професійного спрямування	14,12	0	43	46	89	0	48,31	51,69
Інформаційних систем в економіці	12,98	0	31	17	48	0	64,58	35,42
Інформаційних та комп'ютерних систем	9,76	1	21	15	37	2,7	56,76	40,54
Інформаційних технологій та програмної інженерії	11,89	0	22	23	45	0	48,89	51,11
Інформаційно-вимірвальних технологій, метрології та фізики	11,07	2	35	7	44	4,55	79,55	15,91
Кібербезпеки та математичного моделювання	11,00	0	24	10	34	0	70,59	29,41

Кримінального права та правосуддя	21,23	0	0	22	22	0	0	100
Маркетингу, PR-технологій та логістики	19,73	0	20	32	52	0	38,46	61,54
Менеджменту та державної служби	17,54	0	17	22	39	0	43,59	56,41
Організації соціально-психологічної допомоги населенню	10,21	0	32	7	39	0	82,05	17,95
Промислового та цивільного будівництва	14,60	0	12	30	42	0	28,57	71,43
Промислової електроніки	15,18	0	10	35	45	0	22,22	77,78
Публічного управління та менеджменту організацій	8,51	1	55	12	68	1,47	80,88	17,65
Соціально-гуманітарних дисциплін	13,81	0	11	10	21	0	52,38	47,62
Соціальної роботи	8,09	1	50	2	53	1,89	94,34	3,77
Теоретичної та прикладної економіки	19,47	0	5	33	38	0	13,16	86,84
Теорії та історії держави і права, конституційного права	23,60	0	1	14	15	0	6,67	93,33
Технологій машинобудування та деревообробки	7,55	1	57	2	60	1,67	95	3,33
Товарознавства, експертизи, митної справи та торгівлі	14,56	0	14	20	34	0	41,18	58,82
Трудового права, адміністративного права та процесу	12,03	0	13	16	29	0	44,83	55,17
туризму	12,12	0	26	8	34	0	76,47	23,53
Управління персоналом та економіки праці	13,62	0	25	25	50	0	50	50
Фізичної реабілітації	10,29	0	20	1	21	0	95,24	4,76
Філософії та суспільних наук	19,44	0	3	31	34	0	8,82	91,18
Фінансів, банківської справи та страхування	12,48	1	38	24	63	1,59	60,32	38,1
Фінансово-економічної безпеки	11,88	0	7	9	16	0	43,75	56,25
Харчових технологій	9,94	0	31	19	50	0	62	38
Цивільного, господарського права та процесу	12,13	0	17	14	31	0	54,84	45,16
Не працюють у ЧНТУ	6,67	0	4	2	6	0	66,67	33,33
Загальний підсумок	13,17	9	875	711	1595	0,56	54,86	44,58

У вищезгаданих моделях не представлені ще дві компоненти, які є дуже важливими. Це організація адаптивного навчання і якість самого навчального матеріалу. Перша компонента є досить складною для реалізації і потребує допомоги фахівців з інформаційних технологій, тому її можна застосовувати скоріше до курсів, які спрямовані на використання у окремій дистанційній формі навчання. Друга компонента для оцінки вимагає колективу фахівців у

відповідній галузі знань і лежить поза межами компетенції адміністратора системи дистанційного навчання та технічного персоналу.

Аналіз ефективності роботи викладачів

Продовження контракту навчального закладу з викладачами у значній мірі залежить від якісних показників їхньої роботи. Ці показники прописуються у відповідній нормативній документації навчального закладу [6]. Відповідно до показників роботи викладача з наукової, методичної, організаційної роботи може вираховуватися річна рейтингова оцінка викладачів. Розробка та підтримка дистанційних курсів може бути складовою цієї рейтингової оцінки. Визначимо модель розрахунку складової дистанційних курсів для рейтингової оцінки викладачів, враховуючи можливості системи Moodle. Ця модель має містити такі складові:

Активність студентів у курсі. Перш за все важливим компонентом для оцінки є активність студентів у курсі. Активність включає відвідуваність курсу та два основних види діяльності: читання та запис. Стандартних звітів статистики у Moodle недостатньо для визначення потрібних даних, тому краще скористатися написанням SQL-запитів за допомогою блоку Configurable Reports. Потрібні дані зберігаються у базі даних Moodle у таблицях mdl_stats_user_monthly, mdl_stats_monthly. У цих таблицях зберігаються автоматично підсумовані системою дані активності за кожен місяць із періоду збору статистики. Також слід враховувати, що курси можуть мати різну кількість підписаних студентів, причому деяка частина цих студентів може залишатися ще з попередніх періодів навчання, тому варто визначати показник активності на 1 активного студента:

$$A = \frac{\sum A_ч + \sum A_з}{K_c} \quad (2)$$

де A – активність на 1 студента;

$A_ч$ – операції читання кожного студента;

$A_з$ – операції запису кожного студента;

K_c – кількість активних студентів.

Рейтингова оцінка за активністю. Будь-яка оцінка повинна входити в якийсь заданий діапазон. Щоб привести показник активності на 1 студента до якоїсь оцінки з діапазону, можна використовувати різні методи. Наприклад, розрахувати "ідеальну" модель курсу з ідеальними показниками, або підібрати її за результатами статистичних досліджень і надалі виводити оцінку курсу у порівнянні з цією моделлю. Недолік цього підходу в тому, що курси в навчальному закладі суттєво відрізняються за призначенням, змістом, організацією навчання, кількістю студентів тощо, і підлаштовувати їх під якусь одну модель нераціонально. Тому можна скористатися логарифмічною функцією для приведення показника активності до рейтингової оцінки. У такому разі діапазон оцінки можна визначити приблизно від 0 до 7 балів, причому чим вища активність, тим складніше оцінка буде наближатися до верхньої межі діапазону:

$$P_a = \ln(A) \quad (3)$$

Рейтингова оцінка за якісне наповнення курсу. Модель оцінки якісного наповнення курсу була розглянута вище. Постає питання приведення показника рейтингу курсу до якогось визначеного діапазону. Якщо згадати орієнтовний діапазон рейтингової оцінки за активністю P_a [0...7], то напрошується діапазон оцінки за якісне наповнення курсу P_y в межах [0...3], щоб сумарний діапазон рейтингової оцінки курсу P_k становив [0...10]. Діапазон [0...3] майже співпадає з простою моделлю оцінки якісного наповнення курсу, що була розглянута вище, тож можна буде робити прості висновки по курсу: слабкий, хороший, відмінний. Розподіл діапазонів рейтингу за якісне наповнення курсу (табл. 3) також зроблений на основі практичного досвіду з оцінювання курсів відповідно табл. 1.

Таблиця 3. Розподіл діапазонів рейтингу за якісне наповнення курсу P_y

Діапазон рейтингу курсу	Рейтингова оцінка за якісне наповнення курсу P_y	Проста оцінка
менше 6 балів	0	Назадовільний курс
від 6 до 15 балів (включно)	1	Слабкий курс
від 16 до 25 балів (включно)	2	Хороший курс
більше 25 балів	3	Відмінний курс

Таким чином, P_k буде складатися із оцінки активності та оцінки якісного наповнення, і служити основою для розрахунку оцінки рейтингу викладачів:

$$P_k = P_a + P_y \quad (4)$$

Доля викладачів у оцінці курсу. Курс можуть розробляти і супроводжувати кілька викладачів. Тому логічно розділити оцінку P_k між цими викладачами. Досить важко оцінити вклад кожного викладача у колективну роботу над курсом спираючись тільки на дані статистики, яку зберігає система Moodle, і навряд чи точність результатів буде достатньо високою. Тому можна припустити, що вклад викладачів P_v є однаковим і розділити оцінку в рівних пропорціях. Таким чином, рейтингова оцінка викладача у одному курсі P_v буде розраховуватися за формулою:

$$P_v = P_k / K_v \quad (5)$$

Приклад звіту з розрахованими показниками активності, кількості активних студентів і викладачів, оцінками активності та якісного наповнення на 1 викладача, отриманий за допомогою запитів блоку Configurable Reports, показаний на рис. 5.

id	Курс	Перегляди	Записи	Активність	Кільк акт студ	Акт на 1 студента	Кільк викл	Коефіцієнт акт на 1 НПП	Коеф якості на 1 НПП
1914	Філософія (Шакун)	10351	202	10553	191	55.25	1	4.01	2.00
1802	Історія України (Герасименко)	2421	37	2458	137	17.94	1	2.89	2.00
2457	Business English	4977	0	4977	136	36.60	1	3.61	1.00
1528	Фінанси підприємств_Тарасенко А.В.	43677	4876	48553	126	385.34	1	5.95	2.00
853	Гроші та кредит_Шишкіна О.В.	32327	1954	34281	122	280.99	1	5.64	3.00

Рисунок 5. Фрагмент звіту з розрахованими показниками курсів

Єдине виключення, яке можна зробити із розподілу оцінки – це виключити тих викладачів, які підписані на курс із викладацькими правами, але жодного разу не заходили в курс. Такий підхід у свою чергу буде спонукати викладачів дотримуватися дисципліни у питаннях авторства курсу і уважніше слідкувати за розподілом прав.

Сумарна оцінка рейтингу викладачів. Зазвичай викладачі навчають за кількома дисциплінами, і відповідно можуть супроводжувати кілька онлайн-курсів. Тому для розрахунку остаточної рейтингової оцінки викладачів P достатньо знайти суму по рейтинговим оцінкам по курсам:

$$P = \sum P_v \quad (6)$$

В зборі статистики системи Moodle є один недолік, який може суттєво спотворити результати розрахунку оцінки викладачів: система не зберігає історію підписання користувачів на курси з відповідними правами. Тому результати розрахунків залежать тільки від поточного підписання викладачів на курси, що знову ж таки підкреслює важливість питання авторства курсу.

Висновки

Може здатися, що надмірний контроль за роботою викладачів над онлайн-курсами у системі дистанційного навчання буде призводити до спротиву і втрати цікавості викладачів у залученні сучасних інформаційних технологій у свою діяльність. Це не зовсім так, про що свідчить практика експлуатації системи дистанційного навчання в університеті. Послаблення контролю призводило до застійних явищ у розвитку онлайн-курсів, натомість після посилення контролю все більша частка викладачів почала активно розвивати свої курси спираючись вже на власний ентузіазм. Прозорість показників оцінювання курсів та викладачів викликає здорове суперництво між викладачами за створення найкращих курсів.

На рис. 6 представлена діаграма розвитку курсів, основана на даних перевірки якісного наповнення, який проводився майже щотижня на протязі більше ніж 2 роки. Результати приведені до оцінок простої моделі, де курси умовно поділяються на 3 рівні. Можна побачити, що доля курсів 1 і 2 рівня, тобто "слабких" курсів має тенденцію до зниження, у той час як доля "якісних" курсів 3 рівня постійно збільшується. Причому чітко видно різкі зростання, які припадають приблизно на листопад місяць. Причиною цього можна назвати:

- заходи контролю із сторони керівництва університету;
- поява у викладачів деякого вільного часу, коли семестр наближається до кінця, і можна зайнятися вдосконаленням курсу;
- наближення сесії і бажання підготувати контроль знань із використанням інформаційних технологій.

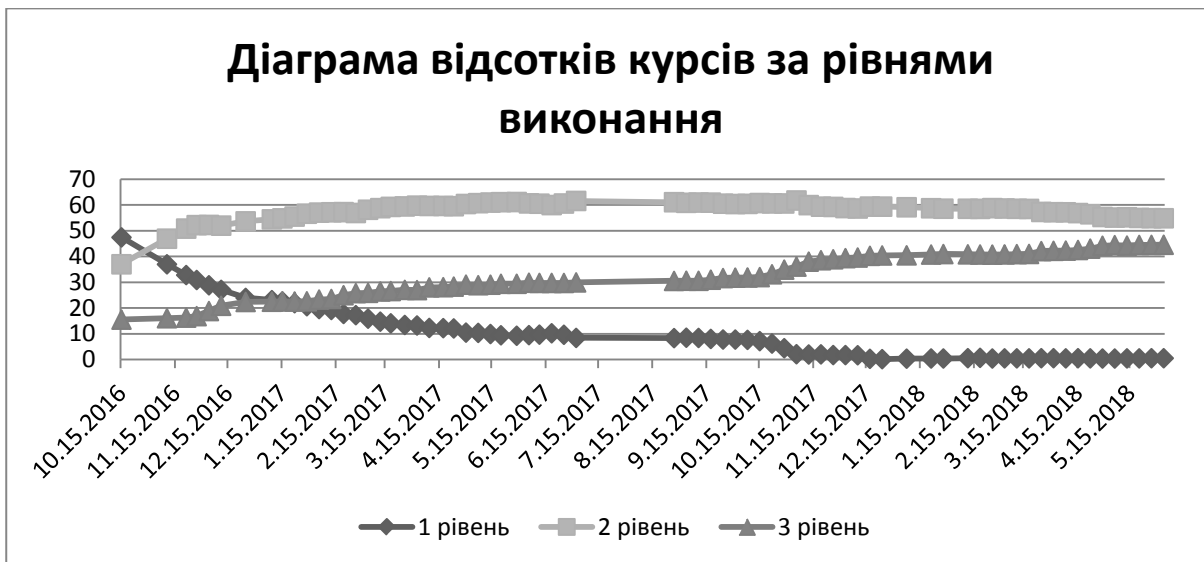


Рисунок.6. Діаграма розвитку курсів, приведена до оцінок простої моделі

Зростання якості розробки курсів підтверджуються показником кількості входів викладачів у систему, наведеному на рис. 7. Збільшена активність викладачів за останній рік пояснюється рішенням керівництва університету включити оцінку за роботу з дистанційними курсами до загального рейтингу викладачів, а також зростання вмінь та бажання викладачів у використанні технологій дистанційного навчання у своїй професійній діяльності.



Рисунок 7. Діаграма кількості входів викладачів у систему

Від позитивних результатів роботи викладачів зростає і зацікавленість студентів у використанні системи дистанційного навчання. Про це свідчить статистика входів студентів у систему, наведена на рис. 8. Чітко прослідковується тренд зростання кількості входів.

Коливання графіків на рис. 7 і 8 співвідносяться із періодами свят та канікул. Як видно, активність студентів і викладачів у ці періоди суттєво падає, але не до нульових відміток, що все ж таки свідчить про деяку самостійну роботу користувачів.



Рисунок 8. Діаграма кількості входів студентів у систему

Представлені вище розрахунки показників ефективності використання системи дистанційного навчання не є ідеальними, мають велику кількість допусків, суб'єктивних оцінок і ручної роботи. Вони не враховують кінцевої мети будь-якого навчання: високої якості та успішності навчання, а більше спрямовані на сам процес використання системи дистанційного навчання. Тим не менше представлені тут оцінки викликають жваву цікавість як адміністрації навчального закладу так і самих викладачів. Маючи картину поточного стану онлайн-курсів і роботи викладачів, можна планувати майбутні зусилля навчального закладу у розвитку технологій навчання, кадровій політиці, зусиль з підвищення якості і успішності навчання, а відтак і престижності навчального закладу.

Список використаних джерел

1. Online Learning: technologies and practice: monograph / Kazymyr V.V., Verovko M.V, Drozd O.P., Lytvyn S.V. / Under the general editorship of Professor Shkarlet S.M. – Chernihiv: Chernihiv National University of Technology, 2016. – 224 p.
2. "Положення про дистанційне навчання", Затв. наказом Міністерства освіти і науки України від 25 квітня 2013 р. № 466
3. Moodle - Open-source learning platform [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://moodle.org/>
4. Moodle Statistics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://moodle.net/stats/>
5. Blocks: Configurable Reports [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://moodle.org/plugins/block_configurable_reports
6. Положення про щорічне оцінювання науково-педагогічних працівників і кафедр Чернігівського національного технологічного університету [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://stu.cn.ua/media/files/pdf/p-ocinnpp.pdf>

Юрченко М.Є.

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем в економіці,
Чернігівський національний технологічний університет

Шаховніна Н.В.

к.пед.н., доцент кафедри інформаційних систем в економіці,
Чернігівський національний технологічний університет

ОБЕРНЕНІ ЗАДАЧІ В ЕКОНОМІЦІ: НОВІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ

Під час вивчення фізичних об'єктів або явищ експериментальними методами типова ситуація, коли кількісні характеристики об'єкта, що цікавлять дослідника, або не є доступними для безпосереднього спостереження, або проведення самого експерименту неможливе взагалі, тому що він або заборонений (наприклад, при вивченні здоров'я людини), або занадто небезпечний (наприклад, при вивченні екологічних явищ). Нарешті, експеримент може бути пов'язаний із дуже великими фінансовими витратами. Проте практично завжди можна отримати деяку непрямую інформацію про досліджуваний об'єкт, за якою можливо зробити припущення про його властивості. Ця інформація визначається природою об'єкта, що вивчається, і експериментальним комплексом, що використовується. У таких ситуаціях для діагностики об'єктів (наприклад, їх внутрішньої структури) необхідні математична обробка й інтерпретація результатів спостережень. Йдеться про задачі, у яких треба визначити причини, якщо відомі отримані в результаті спостереження наслідки. Такі завдання належать класу обернених задач математичної фізики і зараз відіграють велику роль у природничих науках і їх застосуваннях.

У цілому, під *оберненими задачами* розуміються задачі, розв'язання яких проводиться у рамках деякої математичної моделі досліджуваного об'єкта або процесу і полягає у визначенні параметрів цієї моделі за наявними результатами спостережень та іншої експериментальної інформації.

Перші публікації з обернених і некоректних задач з'явилися в першій половині ХХ століття. Вони були пов'язані з дослідженнями фізиків (обернені задачі квантової теорії розсіювання, електродинаміки, акустики), геофізиків (обернені задачі електророзвідки, сейсміки, теорії потенціалу), астрономії і інших областей природознавства.

З появою потужних ЕОМ область застосування обернених і некоректних задач охопила практично всі наукові дисципліни, у яких використовуються математичні методи. Головні напрями застосування - це геофізика, астрономія, візуалізація даних, медична і промислова томографія, дефектоскопія і дистанційне зондування, економіка.

Як відомо, у прямих задачах математичної фізики дослідники прагнуть знайти (у явній формі або наближено) функції, які описують різні фізичні явища. При цьому властивості середовища (коефіцієнти рівнянь), а також початковий стан процесу (у нестационарному випадку) або його властивості на межі (у разі обмеженої області і/або у стационарному випадку) вважаються відомими. Проте саме властивості середовища на практиці часто є невідомими.

Це означає, що необхідно формулювати і розв'язувати обернені задачі, у яких вимагається визначити або коефіцієнти рівнянь, або невідомі початкові чи граничні умови, або місце розташування, межі і інші властивості області, в якій відбувається досліджуваній процес.

Ці задачі у більшості випадків некоректні (тобто в них порушене хоча б одна з трьох властивостей коректності – умова існування, єдиності і стійкості розв'язку по відношенню до малих варіацій даних задачі). Часто в обернених задачах вимагається знайти місце розташування, форму і структуру включень, дефектів, джерел (тепла, коливань, напруги, забруднення) тощо.

Ж. Адамаром [1], а потім І. Гельфандом та Б. Левітаном [2] визначені умови, яким повинна задовольняти коректно поставлена задача для рівняння з частинними похідними: існування і єдиність розв'язку і неперервна залежність розв'язку від початкових даних. Серед прибічників дослідження задач математичної фізики виключно в коректній постановці слід зазначити таких вчених, як А. Пуанкаре, В.А. Стеклов, І.Г. Петрівський, І. Пригожин та ін. [3,4]. Ж. Адамар не визнавав адекватності некоректно поставлених задач безлічі реальних процесів, але в той же час не сумнівався, що останні існують. Фактично він висунув тезу про неадекватність засобів математичного моделювання, що використовувалися.

Донедавна вважалося, що некоректні задачі позбавлені фізичного сенсу і їх розв'язання є недоцільним. Проте є безліч прикладних задач фізики, механіки, астрономії, що адекватно описуються математично, але в той же час є некоректними, що зробило актуальною проблему розробки ефективних методів їх розв'язання. У зв'язку з цим слід згадати виступ Г.Е. Шилова на засіданні Московського математичного товариства, присвяченому пам'яті Ж. Адамара. Автор підкреслив, що наш час вніс корективи в установки Адамара, оскільки з'ясувалося, що некоректні за Адамаром задачі можуть бути змістовними (як, наприклад, наведена у виступі задача про відновлення потенціалу поля за даними розсіювання). У той же час Г.Е. Шилов відзначив, що поняття коректності за Адамаром стало засадою для подальшого розуміння наведеної проблеми.

Особливий внесок у розвиток математичної теорії некоректних задач зробили А.Н. Тихонов, М.М. Лаврентьев, В.Н. Иванов, В.Г. Романов, а також їх учні [5, 6, 7, 8-13]. В.Н. Тихонов у роботах [14-15] визначив, як потрібно розуміти розв'язок некоректної задачі і запропонував [14] один з можливих способів регуляризації некоректної задачі, що полягає в зведенні початкової задачі до знаходження розв'язків деякого операторного рівняння і проблеми пошуку мінімуму деякого функціонала. У зв'язку з цим з'явилося поняття коректності за Тихоновим, введене вперше М.М. Лаврентьевим [16], що обіграє порівняно простий варіант пошуку розв'язку в звуженому класі функцій, для якого відповідна постановка задачі коректна.

Розроблена А.Н. Тихоновим теорія сингулярних збурень стала ефективно використовуватися при дослідженні різних задач для рівнянь з частинними похідними. Під оберненими задачами він розумів вивчення властивостей об'єктів, не доступних або не зручних для безпосереднього вивчення. Згідно з

його теорією, піддаються вивченню ті характеристики об'єкта, які можна виміряти, а потім на їх основі відшукати закономірності в розвитку самих об'єктів. А.Н. Тихоновим також введено наступне визначення, що має теоретичну значущість: нехай деяка сукупність елементів $\{x\}$ відображається функцією $f(x)$ на іншу сукупність елементів $\{x^*\}$: $x^* = f(x)$. Таке відображення називається взаємно однозначним в точці x_0 , якщо

$$x^* = f(x_0) \neq f(x)$$

для будь-якого елемента x , відмінного від x^* .

Це означення дозволило авторів сформулювати й довести теорему, що є основою теорії існування обернених задач: *нехай деякий метричний простір R неперервно відображається на інший метричний простір R^* , тобто*

$$x^* = f(x), \quad [x \in R, x^* \in R^*].$$

Якщо це відображення взаємно однозначне в точці x_0 та простір R компактний, то відображення $x = f^{-1}(x^)$ також неперервне в точці x^* .*

Питанням коректної постановки задач математичної фізики присвячені роботи В.Д. Фрідмана, А.Л. Бухгейма, Л.В. Канторовича [17, 18, 19]. Зокрема, В.М. Фрідман [17] підійшов до розв'язку інтегрального рівняння Фредгольма 1 роду як до математично поставленої задачі, безвідносно до його прийнятності для моделювання конкретних процесів, а М.А. Красносельський [20] узагальнив результати його досліджень на будь-який наявний розв'язок рівняння Фредгольма 1 роду з лінійним обмеженим оператором в гільбертовому просторі.

На теперішній час алгоритми спряжених градієнтів, запропоновані В.М. Фрідманом, вважаються одними з ефективних при розв'язанні великих погано обумовлених систем лінійних алгебраїчних рівнянь, до яких зводиться велика частина задач математичного моделювання.

Слід також зазначити, що важливе практичне значення має дослідження практичних задач, які відносяться до третього класу, що є ніби проміжним між коректними і некоректними задачами. Особливістю вказаних задач є зміна коректності при еквівалентних перетвореннях математичної моделі. Вивчення третього класу задач математичної фізики і властивостей перетворень, еквівалентних в розширеному сенсі, розпочате в 1990-1997 рр. у Київському національному університеті [21, 22].

На відміну від змісту класу обернених задач, досліджуваних в роботах вищезгаданих авторів, знаходження розв'язків обернених економічних задач характеризується передусім метою управління, вираженою за допомогою значення якого-небудь економічного або іншого показника, і наявністю прямої функції. Ця функція відображує залежність наслідку від причини, результатів від витрат, рівня досягнення мети від витрачених для цього засобів тощо. Обернені задачі характеризуються примхливістю і трудомісткістю. Примхливість полягає в непередбачуваності поведінки функції, вигляд якої, як правило, або невідомий, або відомий приблизно.

Звідси, завжди існує проблема з визначенням діапазонів значень початкових економічних даних, при яких задача, по-перше, має сенс, а по-друге має розв'язок. Оскільки обернену функцію отримати важко, а часто і

неможливо, існує потреба в розробці методів, які дозволили б розв'язувати деякі обернені задачі без неї. Відмітимо, що розв'язки для такого класу задач можуть бути частковими, тобто точковими, такими, що базуються не на області розв'язків, а на деякій її точці.

З класичної теореми Коші-Ковалевської випливає, що розв'язок широкого кола обернених і некоректних задач існує і єдиний, але тільки в деякому класі аналітичних функцій. Д. Ортега [23] довів, що вимогу аналітичності можна істотно послабити. Л. Тестарди, розвиваючи метод шкал банахових просторів Д. Ортега [24], показав, що для широкого кола обернених задач можна позбавитися від умови аналітичності по двох змінних - по просторовій змінній і по часовій.

Ці дослідження відкрили дорогу до вивчення багатовимірних обернених задач геофізики, базовою моделлю в якій є горизонтально-шарувате середовище. Однією з головних стала ідея про те, що при дослідженні некоректних задач необхідно звужити клас можливих розв'язків. При цьому найважливішу роль відіграє вибір множини, у якій шукається наближений розв'язок (множина коректності). Найчастіше цю множину вибирають компактною, що дає можливість обґрунтувати збіжність регуляризуючих алгоритмів, допомагає вибрати параметр регуляризації, оцінити відхилення наближеного розв'язку від точного розв'язку некоректної задачі. Результати математичних досліджень були застосовані для розв'язання ряду конкретних обернених задач геофізики, радіолокації, астрономії, медичної томографії.

У роботі Б.Е. Одинцова [25] запропонована теорія обернених обчислень, де під оберненою задачею розуміється визначення приростів аргументів прямої функції (змінних функції) на підставі цільового припису людини і додаткової інформації, що містить відомості про початкові значення аргументів і коефіцієнта відносної важливості аргументів. Таким чином, заміна цільової функції відбувається більшою мірою за рахунок аргументів, які мають більше значення коефіцієнта відносної важливості.

Нехай задана функція $y = f(x, z)$, причому відповідно до мети управління необхідний її приріст на величину Δy . Оскільки у функції два аргументи, приріст її можливий за рахунок приросту або першого аргументу, або другого, або ж за рахунок приросту обох, або за рахунок збільшення першого і зменшення другого, або за рахунок зменшення першого і збільшення другого. Перший варіант можна представити так: $\Delta y = \Delta y_1 + \Delta y_2$, де $\Delta y_1, \Delta y_2$ - прирости функції, що отримані за рахунок приростів першого і другого аргументів. Інші варіанти отримуються шляхом зміни знаків біля приростів.

Згідно з представленою вище теорією, для того, щоб дізнатися, якими мають бути прирости аргументів, задамо наступні співвідношення:

$$\frac{\Delta y_1}{\Delta y} = \alpha, \quad \frac{\Delta y_2}{\Delta y} = \beta,$$

що дозволить записати:

$$\frac{\frac{\Delta y_1}{\Delta y}}{\frac{\Delta y_2}{\Delta y}} = \frac{\frac{y(x \pm \Delta x, z) - y(x, z)}{\Delta y}}{\frac{y(x, z \pm \Delta z) - y(x, z)}{\Delta y}} = \frac{\alpha}{\beta}$$

Якщо, наприклад, $\alpha = 0,75$, а $\beta = 0,25$ то наведене співвідношення треба розуміти так: 0,75 від всього приросту функції буде отримано за рахунок приросту аргумента x , а 0,25 – за рахунок приросту аргумента z .

Коефіцієнти α та β - це коефіцієнти відносної важливості аргументів або цілей, які ці аргументи представляють. Вони задаються спочатку і дозволяють відшукати прирости $\pm \Delta x$ та $\pm \Delta y$. Це нагадує задачу факторного аналізу, що має обернену постановку. У зв'язку з тим, що більший інтерес представляє співвідношення між приростами аргументів, запишемо:

$$\frac{\frac{\Delta x}{\Delta y}}{\frac{\Delta z}{\Delta y}} = \frac{\Delta x}{\Delta z} = \frac{\alpha}{\beta}$$

Далі користуватимемося саме цим співвідношенням. Для того, щоб задача обернених обчислень була до визначеною, її слід доповнити виразами:

$$y \pm \Delta y = f(x \pm \Delta x; z \pm \Delta z).$$

Беручи до уваги, що $\Delta y = \Delta y_1 + \Delta y_2 = \alpha \Delta y + \beta \Delta y$, записуємо наступну умову: $\alpha + \beta = 1$.

З урахуванням цього, обернену задачу для функції двох аргументів $f(x, z)$ в загальному випадку можливо записати у вигляді системи рівнянь

$$\begin{cases} y \pm \Delta y = f(x \pm \Delta x(\alpha), z \pm \Delta z(\beta)), \\ \frac{\Delta x}{\Delta z} = \frac{\alpha}{\beta} \end{cases}$$

де y, x, z – вихідні значення функції й аргументів; Δy – необхідний приріст функції, що задається; α, β – коефіцієнти відносної важливості x та z відповідно. У цій постановці обов'язковим обмеженням виступає умова $\alpha + \beta = 1$. Розв'язуючи систему відносно невідомих Δx та Δy , отримуємо необхідні прирости аргументів.

Відзначимо, що якщо функція містить більше двох аргументів, можливі два шляхи розв'язання поставленої задачі:

- створити систему рівнянь, число яких відповідає числу аргументів;
- звернутися до процедури згортки/розгортки, яка дозволяє звести багатоаргументну функцію до двох аргументів. Розглянемо перший шлях. Нехай задана функція з трьома аргументами:

$$y = f(x, z, p)$$

Приріст функції можливий за рахунок приросту (додатного або від'ємного) усіх трьох аргументів, тобто

$$\pm \Delta y = \pm \Delta y_1 \pm \Delta y_2 \pm \Delta y_3,$$

де $\pm \Delta y$ - загальний приріст функції; $\Delta y_1, \Delta y_2, \Delta y_3$ - прирости функції, отримані за рахунок приростів першого, другого та третього аргументів відповідно.

Як і раніше, можна задавати співвідношення приростів аргументів, що забезпечують необхідний приріст відповідної частини приросту функції, наприклад

$$\frac{\frac{\Delta y_1}{\Delta y}}{\frac{\Delta y_2 + \Delta y_3}{\Delta y}} = \frac{\frac{y(x \pm \Delta x, z, p) - y(x, z, p)}{\Delta y}}{\frac{y(x, z \pm \Delta z, p \pm \Delta p) - y(x, z, p)}{\Delta y}} = \frac{\alpha}{\beta + \gamma}$$

де α, β, γ – коефіцієнти відносної важливості цілі, що відображаються аргументами x, z, p . Позначаємо

$$\frac{\Delta x}{\Delta z + \Delta p} = \frac{\alpha}{\beta + \gamma},$$

$$\frac{\Delta z}{\Delta x + \Delta p} = \frac{\beta}{\alpha + \gamma},$$

У такому випадку задачу обернених обчислень для функцій з трьома аргументами можна розв'язати за допомогою наступної системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} y \pm \Delta y = f(x \pm \Delta x(\alpha), z \pm \Delta z(\beta), p \pm \Delta p(\gamma)), \\ \frac{\Delta x}{\Delta z + \Delta p} = \frac{\alpha}{\beta + \gamma}, \\ \frac{\Delta z}{\Delta x + \Delta p} = \frac{\beta}{\alpha + \gamma} \end{array} \right.$$

Як і раніше, як обмеження використовуються нерівності вигляду

$$\Delta x \leq \Delta \bar{x}, \quad \Delta z \leq \Delta \bar{z}, \quad \Delta p \leq \Delta \bar{p}$$

Тут $\Delta x(\alpha)$, $\Delta z(\beta)$, $\Delta p(\gamma)$ є вирази, які вказують на функціональну залежність відповідних приростів від коефіцієнтів відносної важливості α, β, γ .

На основі цього методу був також розроблений модифікований метод зворотних обчислень [26], за допомогою якого можна обчислити нові значення аргументів функції на основі початкових значень аргументів і результату, а також коефіцієнтів відносної важливості. При знаходженні розв'язку використовується лінійне рівняння зв'язку між аргументами, тому цей метод при комп'ютерній реалізації не вимагає виконання перевірки відповідності встановлених коефіцієнтів важливості поставленої мети.

Крім того, Б.Є. Одинцовим були розглянуті задачі, коли на значення аргументів накладені обмеження і, отже, можливе виникнення дефіциту ресурсу. У роботі [25] запропонована ітераційна процедура, заснована на послідовному збільшенні результуючої змінної. До повного вичерпання ресурсів або досягнення заданого значення цільової функції повторюються наступні кроки: знаходження розв'язку за допомогою обернених обчислень; перевірка відповідності отриманого розв'язку заданим обмеженням і перерахунок приростів у разі виявлення дефіциту в деякому ресурсі.

При числі аргументів більше двох задача ускладнюється і виникає необхідність використання процедури згортки. Використання запропонованих нами стохастичних методів при розв'язанні задач подібного роду дозволяє уникнути складних обчислень і знайти наближений розв'язок з урахуванням

коефіцієнтів важливості, обмежень аргументів, у тому числі розглядати ситуації, коли змінні можуть приймати тільки цілі значення або значення із заданого набору.

Оскільки обернена задача може бути представлена у вигляді задачі глобальної оптимізації, у якій потрібно мінімізувати різницю між заданим значенням цільової функції і отриманим розв'язком, розглянемо деякі існуючі методи, що дозволяють мінімізувати цільову функцію.

Алгоритми випадкового пошуку. Поява ідеї використання випадкових величин при пошуку рішення пов'язують з іменем У.Р. Ешбі. Алгоритми пошуку поділяють на неспрямовані (усі випадкові випробування будують незалежно один від одного) і спрямовані (випробування пов'язані між собою). Найбільш простим методом розв'язання задач глобальної оптимізації є метод неспрямованого випадкового пошуку. Він полягає в отриманні випадкових значень аргументів із заданого інтервалу, розрахунку цільової функції і порівнянні її величини з найкращою з обчислених. Якщо нове розраховане значення результату виявилось менше, то здійснюється запам'ятовування отриманого розв'язку. Таким чином, для функції одного аргументу послідовність кроків буде наступна:

Крок 1. Генерування на інтервалі $[r, R]$ рівномірно розподіленої випадкової величини x .

Крок 2. Якщо $f(x) < f_{min}$ (f_{min} - мінімальне знайдене значення функції), то відбувається запам'ятовування нової точки в якості поточного розв'язку $f_{min} = f(x)$, $x_{min} = x$. Кроки повторюються протягом заданого числа реалізацій або до отримання розв'язку із вказаною точністю. Такий спосіб знаходження розв'язку є реалізацією методу проб і помилок. Даний алгоритм може бути поєднаний з локальним пошуком, коли з випадково вибраних точок здійснюється локальний спуск у найближчий мінімум. Зі знайдених локальних мінімумів далі обирається точка з найменшим значенням. Завдяки своїй простоті і гнучкості даний метод набув широкого поширення при розв'язанні різних задач.

Наприклад, у роботі [27] розглядається використання методу неспрямованого випадкового пошуку для розв'язання комбінаторної задачі вибору оптимального портфеля біржових опціонів, що дозволило отримати цілочисельні значення шуканих величин. До алгоритмів спрямованого пошуку відносять алгоритм парної проби, з поверненням після невдалої спроби, найкращої проби тощо. В алгоритмі парної проби по обидві сторони від вихідної точки робляться два пошукових кроки випадкової величини. Після цього здійснюється перехід у нову точку в напрямку найкращого значення функції. В алгоритмі з поверненням після невдалої спроби задається початкова точка x і випадковим чином здійснюється моделювання збільшення dx . Якщо значення функції в новій точці $x + dx$ краще, ніж в точці x , то здійснюється перехід в цю точку. Деякі автори пропонують виключати той напрямок, який не приводить до поліпшення значення функції.

Істотним недоліком наведених алгоритмів спрямованого пошуку є те, що вони в якості розв'язку можуть визначити локальний мінімум, а не глобальний.

У зв'язку з цим розробляються різні модифікації. До них, зокрема, можна віднести адаптивні алгоритми. Наприклад, таким алгоритмом є випадковий пошук ARSET (Adaptive Random Search Technique) і динамічний випадковий пошук DRASET (Dynamic Random Search Technique). В адаптивному випадковому пошуку в залежності від значення цільової функції простір пошуку звужується (коли відбувається пошук найкращого значення) або розширюється (коли знайдено рішення з прийнятною точністю), таким чином, зменшується ймовірність знаходження локального мінімуму замість глобального через недостатнє дослідження окремих ділянок. В алгоритмі DRASET після знаходження розв'язку додатково здійснюється локальний пошук навколо знайденої точки для отримання більш точного значення.

До недоліків методу випадкового пошуку відносять необхідність виконання великого числа ітерацій для отримання розв'язку із заданою точністю, що вимагає витрат обчислювальних ресурсів. Крім того, також існує похибка обчислень.

Стохастичні алгоритми розв'язання оберненої задачі. Згідно з даним методом, взаємозв'язок показників може бути представлений у вигляді дерева, де на нульовому рівні розташовано значення результуючої функції, а на нижніх - аргументи. У свою чергу кожен лист цього дерева може бути результуючим показником (рис. 1).

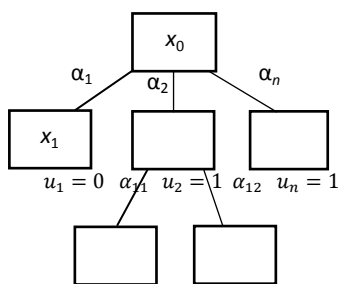


Рисунок 1. Представлення задачі у вигляді дерева

Вузли дерева мають наступні характеристики:

початкове значення x ;

коефіцієнт відносної важливості α (сума коефіцієнтів відносної важливості аргументів одного рівня, які відносяться до одного результуючого показника, повинна дорівнювати одиниці);

мінімальне r і максимальне R значення, які може приймати даний показник;

індикатор u , що характеризує можливість використання даного елемента, і приймає два значення: 1 (використання можливе) і 0 (використання неможливе).

Коефіцієнт відносної важливості α вказує ступінь зміни результуючого показника за рахунок цього аргументу. Він може відображати перевагу дослідника у визначенні величин, а також розраховуватися на основі даних за попередні періоди i , таким чином, показувати найбільш імовірні значення аргументів для досягнення результату. Значення індикатора u стає рівним нулю в разі, якщо зміна аргументу не може бути виконана через існуюче обмеження

або відсутність позитивної зміни цільової функції. Також цей індикатор дорівнює нулю для величин-констант.

У випадку, що розглядається, для розв'язання оберненої задачі були розроблені два алгоритми. Перший являє собою модифікацію випадкового пошуку, другий - ітераційної процедури, заснованої на збільшенні функції. Щоб випадковий пошук можна було використовувати для розв'язання оберненої задачі, необхідно:

врахувати коефіцієнти важливості аргументів;

подати обернену задачу у вигляді задачі глобальної оптимізації, де потрібно мінімізувати різницю між отриманим розв'язком і шуканим y^* .

Для цього використовується інтегральний показник, який відображає ступінь досягнення глобального мінімуму і відповідність приростів аргументів коефіцієнтами важливості. Таким чином, алгоритм може бути представлений у вигляді наступних кроків:

Крок 1. Генерування на інтервалах $[r_i, R_i]$ рівномірно розподілених випадкових величин $x_{t,i}$, ($i = 1, \dots, n$, n - кількість аргументів). Розрахунок значення функції $y_t = f(x_t)$.

Крок 2. Знаходження інтегрального показника

$$c = \frac{|y_t - y^*|}{|y - y^*|} + \sum_{i=1}^n \left| \frac{|\Delta x_i|}{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|} - \alpha_i \right|,$$

де $\Delta x_i = x_{t,i} - x_i$. Перша частина доданка приймає мінімальне значення, яке дорівнює нулю, якщо величина результуючого показника буде близька до заданого y^* , друга частина - при відповідності приростів коефіцієнтам важливості.

Крок 3. Порівняння з найкращим значенням інтегрального показника: якщо $c < c_{min}$, то новий розв'язок запам'ятовується в якості поточного $y_{min} = f(x_t)$, $x_{min i} = x_{t,i}$. Критерієм зупинки є виконання заданого числа ітерацій або отримання розв'язку із вказаною точністю.

Розглянемо тепер алгоритм, заснований на моделюванні приросту функції. Встановлюється крок збільшення аргументів Δu .

Крок 1. Встановити нове значення результуючого показника $y_t = y_t + \Delta u$

Крок 2. За допомогою алгоритму моделювання повної групи несумісних подій обрати вузол з вершин-нащадків, для яких значення індикатора дорівнює 1, відповідно до коефіцієнтів важливості $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$. Для цього виконується розрахунок нормованих значень ймовірностей за формулою

$$p_i^* = \frac{\alpha_i}{\sum_{j=1}^n \alpha_j},$$

де j - номер вершини, для якої значення індикатора дорівнює 1. Якщо вузол не знайдено, то здійснюється завершення роботи алгоритму.

Крок 3. Визначається значення $x_{t,k}^*$ обраної на попередньому кроці вершини k , при фіксованих значеннях інших величин для отримання заданого y_t .

Крок 4. Перевірка відповідності обмеження $r_k \leq x_{t,k}^* \leq R_k$. Якщо умова виконується, то $r_{t,k} = x_{t,k}^*$, і всім вершин, які не є константою, присвоюється індикатор, що дорівнює одиниці, а інакше $f_k = 0$. Перехід до кроку 1.

Крок 5. Перевірка умови: $y^* = y_t$. Якщо умова виконується, відбувається завершення роботи алгоритму, інакше - перехід до кроку 1. Отримані значення x_t будуть розв'язками задачі.

Обернені задачі в економіці.

Як приклад розв'язання обернених економічних задач розглянемо обернену задачу розподілу неоднорідних ресурсів, що є однією з основних оптимізаційних задач, які розв'язуються при проектуванні складних систем. Поставлену задачу будемо формулювати наступним чином: необхідно так вибрати кількість засобів, вказати такий варіант їх розподілу по одиницях продукту, що обслуговуються, і запропонувати такі способи їх дій, щоб заданий рівень ефективності виконання засобами поставленого завдання досягався при їх мінімальних витратах. Отже, необхідно знайти таке мінімальне значення засобів $\{k_i\}, i = 1, K^*$ і так розподілити їх по одиницях продукту $\{l_i\}, i = 1, L$, щоб ефект обслуговування кожної з одиниць P_j був не менше деякого заданого значення P_j^* .

Будемо характеризувати план розподілу засобів наступною матрицею

$\gamma = \{\gamma_{ij}\}$, де

$\gamma_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{засіб } i \text{ не виділяється для обслуговування } j - \text{одиниці продукту} \\ 1, & \text{засіб } i \text{ виділяється для обслуговування } j - \text{одиниці продукту} \end{cases}$

Таким чином, необхідно знайти значення K^* та γ^* , які є розв'язками

задачі

$$\min(K(\gamma)/P_j \geq P_j^*; K^* \leq K; \gamma \in Y) \quad (1)$$

$$P_j = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \gamma_{ij} P_{ij}), \quad (2)$$

де P_{ij} - ймовірність виконання задачі i -м засобом для j -ї одиниці продукту, Y -множина можливих планів розподілу засобів. Множина Y може бути заданою обмеженнями які мають наступний вигляд

$$\sum_{j=1}^L \gamma_{ij} \leq 1, \quad i = 1, K \quad (3)$$

кожен засіб може бути призначено не більше ніж на одну одиницю продукту:

$$\sum_{i=1}^K \gamma_{ij} \leq V, \quad j = 1, L \quad (4)$$

При цьому вважаємо, що за кожною одиницею може бути закріплено не більше V засобів. Як уже було зазначено, до найбільш поширених методів розв'язання обернених задач відносяться модифіковані методи випадкового пошуку і метод динамічного програмування. Однак, застосування зазначених методів для ряду завдань не є ефективним. Це пояснюється досить великим обсягом ітераційних обчислень для знаходження розв'язків. Одним зі шляхів

подолання зазначених труднощів є використання різницевих методів, сутність яких полягає в послідовному призначенні одиниць ресурсу таким чином, щоб в результаті забезпечити розв'язок задачі, близький до оптимального.

Розглянемо матрицю ефективності розподілу $P = \{P_{ij}\}, i = 1, K, j = 1, L$

$$P = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1L} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{K1} & P_{K2} & \dots & P_{KL} \end{vmatrix}$$

Можна скласти деяку матрицю призначень H^* , відповідну до матриці P , яка визначає мінімальну кількість засобів, призначених на кожну одиницю продукту без взаємного врахування використання засобів по інших одиницях, тобто без урахування обмежень. Ця матриця може бути складена таким чином:

$$H^* = \begin{vmatrix} 0 & 11 & \dots & 0 \\ 0 & 10 & \dots & 0 \\ 1 & 00 & \dots & 1 \\ 1 & 01 & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

Представлена вище матриця описує план розподілу коштів, що визначає нижню межу значень критерію якості розв'язку задачі:

$$K_- = \inf K = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L \gamma_{ij}^* \quad (5)$$

Виходячи зі сказаного вище, доцільно складати реальний план таким чином, щоб на кожному кроці при призначенні засобів якомога менше відхилятися від цієї межі. Перепишемо представлене вище співвідношення у вигляді

$$K_- = \sum_{k=1}^L n_k^*, \quad n_k^* = \sum_{i=1}^K \gamma_{ik}^* \quad (6)$$

де n_k^* - мінімальна кількість коштів, яку необхідно призначити на k -у одиницю продукту для виконання умови (2) без урахування обмеження (3). Виходячи з цього значення, γ_{ij}^* та, відповідно, n_k^* , можуть бути визначені шляхом розв'язання L наступних задач:

$$n_k^* \quad \overline{\gamma_{ik}} \quad \min \quad (7)$$

за умови

$$1 - \prod_{i=1}^K (1 - \gamma_{ik} P_{ik}) \geq P_k^*,$$

де P_k^* — заданий рівень ефективності обслуговування k -ої одиниці продукту, або:

$$\min(n_k^* (\gamma_{ik}) / P_k) \geq P_k^*, k = 1, L$$

При розв'язання поставленої задачі використовуємо принцип найменшого відхилення. Суть методу полягає в тому, що для реального призначення треба вибрати елемент (i^*, j^*) , що забезпечує виконання умови

$$(i^*, j^*): \min \Delta_{ij}, \quad \Delta_{ij} = \sum_{h=1}^K (n_k^{ij} - n_k^*), \quad \Delta_{ij} \geq 0 \quad (8)$$

де n_k^{ij} - мінімальна кількість засобів, що виділяються на k -у одиницю продукту з урахуванням призначення засобу i на одиницю продукту j . Кількість засобів, відповідних призначенню певного засобу i^* на певну одиницю продукту j^* , характеризується планом розподілу $H^{i^*j^*}$ і вектором $\{n_k^{i^*j^*}\}$, які також знаходяться шляхом розв'язання M задач:

$$n_k^{i^*j^*} \overrightarrow{\gamma_{ik}} \min \quad (9)$$

за умови

$$P_k = 1 - \prod_{i=1}^K (1 - \gamma_{ik} P_{ik}) \geq P_k^*, \quad \gamma_{i^*j} = 0, j \neq j^*$$

або

$$\min(n_k^{i^*j^*} (\gamma_{ik}) / P_k) \geq P_k^*, \gamma_{i^*j} = 0, j \neq j^*$$

Розв'язок задачі в даному випадку розбивається на ряд одновимірних задач, що підвищує ефективність запропонованого методу при його реалізації. Наведемо приблизний алгоритм розв'язання.

1. Знаходимо елементи $n_k^{*(0)}$, які задовольняють наступній умові:

$$n_k^{*(0)} \overrightarrow{\gamma_{ik}} \min, \quad i = 1, K, P_k \geq P_k^*$$

2. Знаходимо елементи $n_k^{i^*j^*(t)}$, які задовольняють умові

$$n_k^{i^*j^*(t)} \overrightarrow{\gamma_{ik}} \min, i^*, i \in K^{(t)}, \\ P_k \geq P_k^{*(t)}, \gamma_{i^*j^*} = 1, j, j^{(t)} \in L^{(t)}$$

де $K^{(t)}$ - множина засобів, які не використовуються до t -го кроку обчислювального процесу;

$L^{(t)}$ - множина одиниць продукта, які не обслуговуються до t -го шагу обчислювального процесу;

$P_k^{*(t)}$ - задана ймовірність обслуговування k -ої одиниці продукта до t -го шагу обчислювального процесу;

3. Знаходимо елементи матриці $\Delta = \{\Delta_{i,j}\}$ по співвідношенням

$$\Delta_{i,j} = \sum_{h=1}^{L^{(t)}} (n_k^{ij(t)} - n_k^{*(t)}), i \in K^{(t)}, j \in L^{(t)}$$

4. Закріплюємо засіб i^* за j^* одиницю продукту згідно з умовою:

$$\Delta_{i^*j^*} = \min \Delta_{ij}$$

5. Перераховуємо P_j^*

$$P_{j^*}^{*(t+1)} = 1 - \frac{1 - P_{j^*}^{*(t)}}{1 - P_{i^*j^*}} = \frac{P_{j^*}^{*(t)} - P_{i^*j^*}}{1 - P_{i^*j^*}} \\ P_{j^*}^{*(t+1)} = P_{j^*}^{*(t)}, j \neq j^*$$

6. Перераховуємо n_j^*

$$n_{j^*}^{*(t+1)} = n_{j^*}^{*(t)} - 1; \\ n_j^{*(t+1)} = n_j^{*(t)}; j \neq j^*$$

7. Перевіряємо умову $P_{j^*}^{*(t+1)} \geq 0$
- $$\begin{cases} \text{"так"} - L^{(t+1)} = L^{(t)} \\ \text{"ні"} - L^{(t+1)} = L^{(t)} - 1; \quad n_{j^*} = n_{j^*}^{*(0)} - n_{j^*}^{*(t+1)} \end{cases}$$
8. Перевіряємо умову $L^{(t+1)} = 0$
- $$\begin{cases} \text{"так"} - \text{перейти до пункту 10,} \\ \text{"ні"} - \text{перейти до пункту 9} \end{cases}$$
9. Перевіряємо умову $t \leq K$
- $$\begin{cases} \text{"так"} - \text{перейти до пункту 2,} \\ \text{"ні"} - \text{перейти до пункту 10} \end{cases}$$
10. Кінець

Слід зазначити, що при виборі елементів (i^*, j^*) в п. 5 можливі випадки існування декількох пар індексів, які реалізують умову:

$$\Delta_{i^*j^*} = \min \Delta_{ij} \quad (10)$$

Це означає, що з'являється неоднозначність у виборі елементів (i^*, j^*) . Неоднозначність, що виникла, можна подолати наступним способом. Назвемо оптимальним елементом матриці Δ елемент, відповідний індексам, що визначаються з умови (10). Позначимо: K_{i^*j} - число оптимальних елементів, що викреслюються зі стовпця матриці Δ при виборі оптимального елемента (i^*, j^*) , K_{ij^*} - число оптимальних елементів, що викреслюються з рядка матриці Δ при виборі оптимального елемента (i^*, j^*) .

Тоді $K_{i^*j^*} = K_{i^*j} + K_{ij^*}$ - число оптимальних елементів, які викреслюються з матриці Δ при призначенні оптимального елемента (i^*, j^*) . Поставивши у відповідність кожному оптимальному елементу величину $K_{i^*j^*}$, будемо проводити призначення цих елементів у порядку зростання $K_{i^*j^*}$ починаючи з оптимальних елементів, відповідних найменшим значенням цього показника. Оптимальні елементи, які опинилися в рядку або стовпці призначеного оптимального елемента, з подальшого розгляду на даному етапі розподільчого процесу виключаються.

Перевагою даного алгоритму в порівнянні з розглянутими вище є простота його комп'ютерної реалізації, а також відсутня необхідність розв'язання системи рівнянь, застосування процедури згортки і багаторазового розв'язку задачі за допомогою зворотних обчислень. Даний метод дозволяє отримати розв'язок з урахуванням коефіцієнтів відносної важливості і обмежень на величини аргументів.

Список використаних джерел

1. Адамар, Ж. Задача коши для линейных уравнений с частными производными гиперболического типа / Ж. Адамар. – М. : Наука, – 1978. – 298 с
2. Гельфанд И.М., Левитан Б.М. Об определении дифференциального уравнения по его спектральной функции / И. М. Гельфанд, Б. М. Левитан// Изв. АН СССР, Сер. матем. – 1951.–Т. 15, Вып. 4. – С.234-237.
3. Петровский, И. Г. Лекции об уравнениях с частными производными / И. Г. Петровский. – М. : Физматгиз, 1961. – 400 с.
4. Стеклов, В. А. Основные задачи математической физики / В. А. Стеклов. – М. : Наука, 1983. – 432 с.

5. Лаврентьев, М. М. Линейные операторы и некорректные задачи / М. М. Лаврентьев, Л. Я. Савельев. – М. :Наука,1991. – 331 с.
6. Иванов, В. К. Теория линейных некорректных задач и ее приложения / В. К. Иванов, В. В. Васин, В. П. Танана. – М. : Наука, 1978. – 208 с.
7. Романов, В. Г. О численном методе решения одной обратной задачи для гиперболического уравнения / В. Г. Романов //Сибирский матем.журнал. – 1996. – № 3. – С. 633-655.
8. Романов, В. Г. Обратная задача для интегро-дифференциального уравнения, содержащего параметр / В. Г. Романов // Доклады АН. –1996. – №5. – С. 592-594.
9. Алифанов О. М. Экстремальные методы решения некорректных задач и их приложения к обратным задачам теплообмена / О. М. Алифанов, Е. А. Артюхин, С. В. Румянцев. – М. : Наука,1988. – 286 с.
10. Амиро, И. Я. Динамика ребристых оболочек / И. Я. Амиро, В. А. Заруцкий, В. Г. Паламарчук. - К. :Наукова думка,1983. - 204 с.
11. Бухгейм, А. Л. Единственность в целом одного класса многомерных обратных задач / А. Л. Бухгейм, М. В. Клибанов // Докл. АН СССР. - 1981. - №2. - С. 269-271.
12. Ватульян, А. О. Математические модели и обратные задачи / А. О. Ватулян // Соросовский образовательный журнал. - 1998. - № 11. - С. 143-148.
13. Ватульян, А. О. О восстановлении формы приповерхностного дефекта в полупространстве / А. О. Ватулян, С. А. Коренский // Докл. РАН. - 1995. –Т.334, № 6. - С. 753-755.
14. Тихонов, А. Н. Методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. - М. : Наука, 1986. - 287 с.
15. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Математические задачи компьютерной томографии.-М.:Наука,1987.-160 с.
16. Лаврентьев М.М., Савельев Л.Я. Линейные операторы и некорректные задачи. М.:Наука,1991.-331 с.
17. Фридман, В. М. О сходимости методов типа наискорейшего спуска / В. М. Фридман // Успехи математич. наук. - 1962. - Вып.17. - № 3. - С. 201-208.
18. Бухгейм, А. Л. Введение в теорию обратных задач / А. Л. Бухгейм. - Новосибирск.: Наука, 1988. - 243 с.
19. Канторович, Л. В. О новых подходах к вычислительным методам и обработке наблюдений / Л. В. Канторович // Сибирский матем.журнал. - 1962. - Вып.3. - № 5. - С. 701-709
20. Красносельский, Е. А. Обратные краевые задачи / Е. А. Красносельский. – Свердловск : Ин-т мех. сплошн. сред, 2001. - 58 с.
21. Марченко, В. А. Прямая и обратная задачи многоканального рассеяния / В. А. Марченко, Ю. И. Любарский // Функци. анализ и его прил. – 2007. – №2. – С. 58–77.
22. Жарий, О. Ю. Введение в механику нестационарных колебаний и волн / О. Ю. Жарий, А. Ф. Улитко. - Киев. : «Выща школа», 1989. - 183 с.
23. Ортега, Дж. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем / Дж. Ортега. - М. : Мир,1991. - 365 с.
24. Testardi L.R., Norton S.J. Acoustic dimensional resonance tomography: some examples in one-dimensional system.// J. Appl. Phys.-2006.- Vol. 96, No. 1.- P. 55-58.
25. Одинцов, Б. Е., Обратные вычисления в формировании экономических решений, Финансы и статистика / Б. Е. Одинцов. - М., 2004, - 256 с.
26. Cohen-Tenoudji F., Quentin G. Elastic wave inversion transformation// Rev. Progr. Quant. Nondestruct. Eval. Proc. 9 Annu. Rev. San Diego Calif. 1-6 Aug. 2012 V.2B. New York-London.-2003.-P.961-973
27. Slavutsky L.A. WKB-approximation for inverse problem of radiowaves refraction//URSI-S on EM theory proc.-2012, Australia.-P.404

Балюнов О.О.

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем в економіці,
Чернігівський національний технологічний університет

ОДИН З ПІДХОДІВ ДО АНАЛІЗУ ІНВЕСТИЦІЙНОГО КЛІМАТУ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ РЕТРОСПЕКТИВНОГО МЕТОДУ

Добробут населення будь-якої країни прямо пов'язаний із зростанням економіки. Тому створенню відповідних умов для якомога більшого росту економічних показників на тому чи іншому історичному відрізку приділяється велика увага як в економічній теорії, так і в її прикладних аспектах. Одним із основних факторів, що сприяють економічному росту, зокрема, зростанню внутрішнього валового продукту, є інвестиції. В підсумку, можна стверджувати, що інвестиціям належить ключова роль у капіталоутворенні. Аналізу інвестицій присвячено чимало робіт, як класичних, так і сучасних авторів. Незважаючи на виняткову важливість даної економічної категорії, існує чимало трактовок у визначенні поняття інвестиції. Це пов'язано, насамперед, з історичним розвитком економічної теорії, починаючи з робіт представників англійської школи економіки А.Сміта, А.С. Пігу, Д.С. Мілля, А. Маршалла. Надалі класична економічна теорія отримала новий розвиток завдяки появі макроекономічної теорії, засновником якої став Дж. М. Кейнс. Подальший розвиток економічної думки призвів до появи численних теорій таких як неокейнсіанство, монетарна та інституціональна теорії, сучасних теорій довгих хвиль, економічних циклів, конкурентних переваг. Очевидно, на кожному етапі розвитку поняття інвестиції зазнавало певних змін, набувало нових характеристик. Детальний огляд еволюції поняття інвестиції представлено в роботі Л.Д. Сейдаметової [1].

В численних роботах сучасних авторів розглядаються як різні складові інвестицій так і вплив соціально-економічних факторів на інвестиційний клімат. Проблема формування сприятливих передумов для підвищення інвестиційної привабливості як підприємств так і окремих регіонів і країн досліджувалась в роботах Т.В.Кулініч [2], Л.М. Борщ [3], Т.В. Майорової [4], Б.В. Губського [5]. Емпіричний підхід до аналізу детермінантного впливу інвестицій на розвиток економіки застосований в роботі [6], доведено пряму залежність швидкого економічного зростання від високого рівня валових накопичень та внутрішніх заощаджень. В роботі також розглядаються причини низької ефективності інвестицій та високої інерційності економік пострадянських країн. В статті М.А. Мордвинцева [7] проводиться аналіз інвестиційного клімату в країнах із перехідною економікою. Автор пропонує власне визначення інвестиційного клімату як комплексу суб'єктивних та об'єктивних обмежень економічної системи (як внутрішніх так і зовнішніх по відношенню до системи), що впливають на ймовірність залучень ресурсів від інших суб'єктів економіки. Тобто, задача формування сприятливого інвестиційного клімату є задачею органів державної або регіональної влади з їх обмежувальними та контрольними функціями. Отже, важливого значення у створенні сприятливого інвестиційного клімату набувають інституціональні

фактори. Вплив тих чи інших інституціональних факторів автор визначає кореляційним методом. При цьому статистична значущість досягається завдяки тому, що до розгляду беруться рейтинги міжнародних організацій такі, як Doing business [8], Index of Economic Freedom [9]. Робиться висновок, що для країн із перехідною економікою до яких відноситься і Україна, величезну роль у створенні привабливого інвестиційного клімату відіграють такі інституціональні фактори, як легкість отримання дозволів на будівництво, налагоджений аудит, чіткі стандарти звітності, низький рівень корупції, вільна міжнародна торгівля, доступ до підключення до систем електропостачання, простота реєстрації підприємств, прозоре оподаткування, реєстрація власності. За думкою автора лише окремі економічні фактори мають суттєво більший вплив на інвестиційний клімат – це ефективність ринку товарів та рівень розвитку фінансового ринку.

Багато уваги приділяється дослідженню взаємозв'язку рівня заощаджень та накопичень домогосподарств та інвестиціями, а також тим умовам, за яких заощадження населення залучаються як інвестиції і призводять до росту економіки [10]. Велике значення має також негативний вплив корупції [11].

Метою даної роботи є аналіз соціально-економічних факторів, що впливають на залучення інвестицій в Україну. За відправну множину факторів оберемо наступні часові ряди соціально-економічних показників, дані – із офіційних електронних ресурсів [12,13], таблиця 1.

Таблиця 1. Часові ряди деяких соціально-економічних показників України.

Фактор \ Рік	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Annual GDP	136011	163161	175707	179572	132343	90939	93263	112154
GDP per capita	2983	3590	3873	3969	3095	2135	2199	2657
Debt	55206	60192	65923	72757	93036	72134	75794	76310
Debt per capita	1211	1324	1453	1608	2176	1694	1787	1808
Deficit	-7844	-4508	-7563	-8591	-5901	-1055	-2076	-1618
Expenditure	66789,4	74596,8	85996,1	86387,6	59239,9	39138,9	37857,8	39139,3
Education expenditure(% GDP)	7,4	6,16	6,71	6,65	5,89	5,7	5,4	6
Health expenditure(% GDP)	4,42	3,73	4,13	4,15	3,6	3,6	3,2	3,4
Defence expenditure	3729,5	3684,7	4135,2	4297	3998,3	3613,2	3424,6	3635,5
Defence expenditure (% DGP)	2,74	2,26	2,35	2,39	3,02	3,97	3,67	3,24
Corruption Index	24	23	26	25	26	27	29	30
Competitiveness Index	3,95	3,9	4	4,14	4,05	4,14	4,03	4,11
Global Innovation Index	30,6	35,01	36,1	35,78	36,26	36,45	35,72	37,6
Unemployment rate (%)	8,8	8,6	8,1	7,7	9,7	9,5	9,7	10,1

Minimum wages(\$)	115,5	126,1	141,9	152,4	148,54	87,4	57,42	119
CPI (overall index %)	9,1	4,6	-0,2	0,5	24,9	43,3	12,4	13,7
Doing Business Index	39,69	44,21	44,35	48,87	58,14	61,83	62,77	63,9
Trade balance	-9433	-14134	-16109	-12449	-131	1542	-2787	-6222
Population	45598179	45453282	45372692	45245894	42759661	42590879	42414905	42216766
Density	76	75	75	75	71	71	70	70
Global Peace Index	2162	2054	2081	2238	2546	2845	3287	3184
Birth Rate	10,9	11	11,5	11,1	10,6	9,6	9,3	8,6
Crude death rate	15,3	14,6	14,6	14,6	14,4	13,9	13,7	13,6
Capital Investments	189,1	259,9	293,7	267,7	219,4	273,1	359,2	412,8

Проведемо кореляційно-регресійний аналіз наведених статистичних даних. Серед обраних соціально-економічних факторів присутні також рейтинги міжнародних організацій такі, як Global Innovation Index, Doing Business Index, Global Peace Index, Consumer Price Index, що самі по собі виступають спеціальними інтегральними характеристиками. Залежною змінною, або регресантом, оберемо змінну Capital Investments – капітальні інвестиції. Серед інших даних необхідно вибрати не більше 7 незалежних змінних - регресорів, що зумовлено стабільністю чисельних обчислень. Для цього проведемо кореляційний аналіз, результати якого представлені в таблиці 2. Найбільші парні коефіцієнти кореляції регресант має із факторами Health expenditure, Corruption Index, Global Innovation Index, Doing Business Index, Global Peace Index, Birth Rate та Crude death rate. Виключимо з цього переліку Crude death rate – рівень смертності, як такий що має найвищі мультиколінеарні коефіцієнти.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Capital Investments	GDP per capita	Debt per capita	Deficit	Education expenditure(%GDP)	Health expenditure(%GDP)	Defence expenditure (%GDP)	Corruption Index	Competitiveness Index	Global Innovation Index	Unemployment rate (%)	Minimum wages(\$)	CPI (overall index %)	Doing Business Index	Density	Global Peace Index	Birth Rate	Crude death rate
Столбец 1	1																	
Столбец 2	-0,3376	1,0000																
Столбец 3	0,2871	-0,3543	1,0000															
Столбец 4	0,6293	-0,8261	0,3682	1,0000														
Столбец 5	-0,5390	0,6010	-0,6877	-0,8116	1,0000													
Столбец 6	-0,6698	0,6547	-0,6601	-0,8605	0,9557	1,0000												
Столбец 7	0,3594	-0,9543	0,5009	0,8041	-0,6771	-0,6674	1,0000											
Столбец 8	0,8393	-0,6322	0,5917	0,6726	-0,6061	-0,7121	0,6966	1,0000										
Столбец 9	0,3687	-0,2751	0,5711	0,2804	-0,3436	-0,2650	0,5069	0,5799	1,0000									
Столбец 10	0,6680	-0,0987	0,6625	0,4971	-0,7108	-0,6607	0,2834	0,6075	0,5898	1,0000								
Столбец 11	0,4266	-0,8437	0,6051	0,7958	-0,6517	-0,7775	0,7767	0,6916	0,2024	0,2996	1,0000							
Столбец 12	-0,3877	0,8449	-0,0150	-0,7223	0,5340	0,5689	-0,7680	-0,4878	-0,0252	0,0325	-0,5364	1,0000						
Столбец 13	-0,0555	-0,7429	0,4897	0,6333	-0,5391	-0,4445	0,8192	0,3138	0,4476	0,2412	0,6435	-0,4045	1,0000					
Столбец 14	0,6434	-0,7263	0,7991	0,8052	-0,8600	-0,8773	0,8265	0,8572	0,6586	0,7046	0,7903	-0,4884	0,6283	1,0000				
Столбец 15	-0,6169	0,7651	-0,8074	-0,8167	0,8634	0,9081	-0,8262	-0,8541	-0,5198	-0,6432	-0,8750	0,5186	-0,6240	-0,9802	1,0000			
Столбец 16	0,7268	-0,8296	0,6053	0,8177	-0,7477	-0,8396	0,8508	0,9174	0,5139	0,4851	0,8222	-0,6892	0,4861	0,9264	-0,9300	1,0000		
Столбец 17	-0,7339	0,8276	-0,4694	-0,8746	0,6572	0,7877	-0,8037	-0,8572	-0,4667	-0,4357	-0,8495	0,6416	-0,5018	-0,8664	0,8661	-0,9503	1,0000	
Столбец 18	-0,8379	0,6237	-0,6208	-0,8578	0,8738	0,9063	-0,7084	-0,8722	-0,5567	-0,7989	-0,6746	0,5265	-0,4373	-0,9321	0,9035	-0,8901	0,8532	1,0000

Таблица 2. Кореляційна таблиця.

Отже, таблиця вхідних даних набуде вигляду:

Таблиця 3. Фактори, вибрані за результатами кореляційного аналізу.

Рік	Capital Investments	Health expenditure(%GDP)	Corruption Index	Global Innovation Index	Doing Business Index	Global Peace Index	Birth Rate
		V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆
2010	189,1	4,42	24	30,6	39,69	2162	14,3
2011	259,9	3,73	23	35,01	44,21	2054	14,5
2012	293,7	4,13	26	36,1	44,35	2081	15,3
2013	267,7	4,15	25	35,78	48,87	2238	15,4
2014	219,4	3,6	26	36,26	58,14	2546	15,8
2015	273,1	3,6	27	36,45	61,83	2845	16
2016	359,2	3,2	29	35,72	62,77	3287	16,1
2017	412,8	3,4	30	37,6	63,9	3184	16

Таким чином, специфікація моделі лінійної множинної регресії має вигляд

$$\text{Capital Investments} = \beta_1 + \beta_2 V_1 + \beta_3 V_2 + \beta_4 V_3 + \beta_5 V_4 + \beta_6 V_5 + \beta_7 V_6 + \varepsilon.$$

Значущі змінні будемо визначати безпосередньо під час аналізу. Реалізація цього процесу відбувається на основі метода виключення незначущих змінних, порівнюючи значення F-критерію для кожної змінної. Статистичний аналіз даних виконуємо за допомогою пакета STATISTICA. До даних табл.3 застосуємо модуль стандартної множинної регресії, отримаємо результати, наведені в табл. 4.

Табл. 4. Результати стандартної множинної регресійної моделі.

Regression Summary for Dependent Variable: Capital Investments R= ,99999308 R ² = ,99998617 Adjusted R ² = ,99990316 F(6,1)=12048, p						
	Beta	Std.Err. - of Beta	B	Std.Err. - of B	t(1)	p-level
Intercept			-970,375	20,05415	-48,3878	0,013155
Health expenditure(%GDP)(V₁)	0,29300	0,012779	50,728	2,21248	22,9280	0,027748
Corruption Index (V₂)	-0,05457	0,020397	-1,658	0,61988	-2,6752	0,227733
Global Innovation Index (V₃)	1,45692	0,013736	50,307	0,47429	106,0677	0,006002
Doing Business Index (V₄)	-1,97855	0,027110	-14,655	0,20080	-72,9825	0,008722
Global Peace Index (V₅)	2,58523	0,035694	0,374	0,00516	72,4281	0,008789
Birth Rate (V₆)	-0,53333	0,015731	-55,286	1,63067	-33,9038	0,018772

Із табл.4 випливає, що змінна Corruption Index (V₂), можливо не є значущою (p-level>0,05). При цьому, коефіцієнт детермінації R²=0,99998617 наближається до 1, що вказує на високий ступінь наближення регресійної моделі до варіації залежної змінної Capital Investments. Можливими пояснювальними змінними є V₁, V₃, V₄, V₅, V₆. Подальший аналіз змінних проведемо за допомогою опцій «Регресія вперед» та «Регресія назад», включаючи або виключаючи пояснювальні змінні. Результатом кроку «Регресія вперед» є таблиця 5.

Таблиця 5. Результати опції «Регресія вперед».

Regression Summary for Dependent Variable: Capital Investments R= ,83934310 R ² = ,70449684 Adjusted R ² = ,65524631 F(1,6)=14,304 p						
	Beta	Std.Err. - of Beta	B	Std.Err. - of B	t(6)	p-level
Intercept			-385,228	177,6748	-2,16817	0,073247
Corruption Index (V₂)	0,839343	0,221925	25,508	6,7444	3,78211	0,009158

Виконуючи крок з опцією «Регресія назад» отримаємо результати таблиці 6.

Таблиця 6. Результати опції «Регресія назад».

Regression Summary for Dependent Variable: Capital Investments R= ,99994358 R ² = ,99988716 Adjusted R ² = ,99960507 F(5,2)=3544,5 p						
	Beta	Std.Err. - of Beta	B	Std.Err. - of B	t(2)	p-level
Intercept			-931,364	27,80141	-33,5006	0,000890
Health expenditure(%GDP) (V₁)	0,27261	0,020713	47,197	3,58609	13,1611	0,005724
Global Innovation Index (V₃)	1,42927	0,018264	49,352	0,63065	78,2564	0,000163
Doing Business Index (V₄)	-1,92910	0,040054	-14,289	0,29668	-48,1632	0,000431
Global Peace Index (V₅)	2,49706	0,027663	0,361	0,00400	90,2656	0,000123
Birth Rate (V₆)	-0,54725	0,029980	-56,729	3,10775	-18,2540	0,002988

Вони є остаточними в рамках моделі лінійної регресії:

$$\text{Capital Investments} = -931,364 + 47,197V_1 + 49,352V_3 - 14,289V_4 + 0,361V_5 - 56,729V_6 + \varepsilon$$

При цьому, коефіцієнти регресії мають цілком допустимі значення попарної кореляції, табл. 7:

Таблиця 7. Кореляційна таблиця коефіцієнтів регресії.

Correlations of Regression Coefficients B; DV: Capital Investments					
	Health expenditure(%GDP)	Innovation Index	Doing Business Index	Global Peace Index	Birth Rate
Health expenditure(%GDP)	1,000000	0,556413	0,453541	0,377954	-0,604412
Innovation Index	0,556413	1,000000	-0,047086	0,652294	-0,631241
Doing Business Index	0,453541	-0,047086	1,000000	-0,503371	-0,606488
Global Peace Index	0,377954	0,652294	-0,503371	1,000000	-0,250905
Birth Rate	-0,604412	-0,631241	-0,606488	-0,250905	1,000000

Значення коваріаційних залежностей наведені в табл. 8:

Таблиця 8. коваріаційна таблиця коефіцієнтів регресії.

Covariances of Regression Coefficients B; DV: Capital Investments					
	Health expenditure(%GDP)	Innovation Index	Doing Business Index	Global Peace Index	Birth Rate
Health expenditure(%GDP)	12,86007	1,25836	0,482532	0,005420	-6,73597
Innovation Index	1,25836	0,39771	-0,008810	0,001645	-1,23716
Doing Business Index	0,48253	-0,00881	0,088019	-0,000597	-0,55918
Global Peace Index	0,00542	0,00164	-0,000597	0,000016	-0,00312
Birth Rate	-6,73597	-1,23716	-0,559184	-0,003118	9,65809

Інтерпретуючи отриманий результат, зазначимо, що інвестиції тим більші, чим вищі витрати на охорону здоров'я, чим кращий ступінь інновацій та чим спокійніше в країні. Очевидно, що, чим вище рівень народжуваності, тим менше частка накопичення і, відповідно, менше інвестиції. Щодо індексу Doing Business, то він впливає обернено-пропорційно: чим кращі умови ведення бізнесу в країні, тим нижче значення індексу. Це пов'язано із природою факторів, що враховуються при розрахунку даного індексу, як то: отримання дозволу на будівництво, оподаткування, підключення до системи електропостачання, кредитування, реєстрація власності, міжнародна торгівля,

реєстрація підприємств, кредитування, захист інвесторів. Для порівняння: на даний час рейтинг Doing Business такої країни як Данія із внутрішнім валовим продуктом на душу населення 56195,00 \$ становить 3 пункти, тоді як для України із ВВП на душу населення 2657,00 \$ цей рейтинг складає 76 пункти. Цікавим в даному емпіричному аналізі є той факт, що серед пояснювальних змінних присутні майже всі обрані на початку дослідження рейтингові індекси за виключенням індексу корупції.

Регресійна модель лише тоді є статистично значимою, якщо виконуються основні теоретичні гіпотези [14]. Зокрема, побудуємо матричну діаграму розсіювання даних. Оберемо в якості змінних отримані вище регресори та регресант, для яких будемо попарні діаграми розсіювання, та гістограми (рис.1).

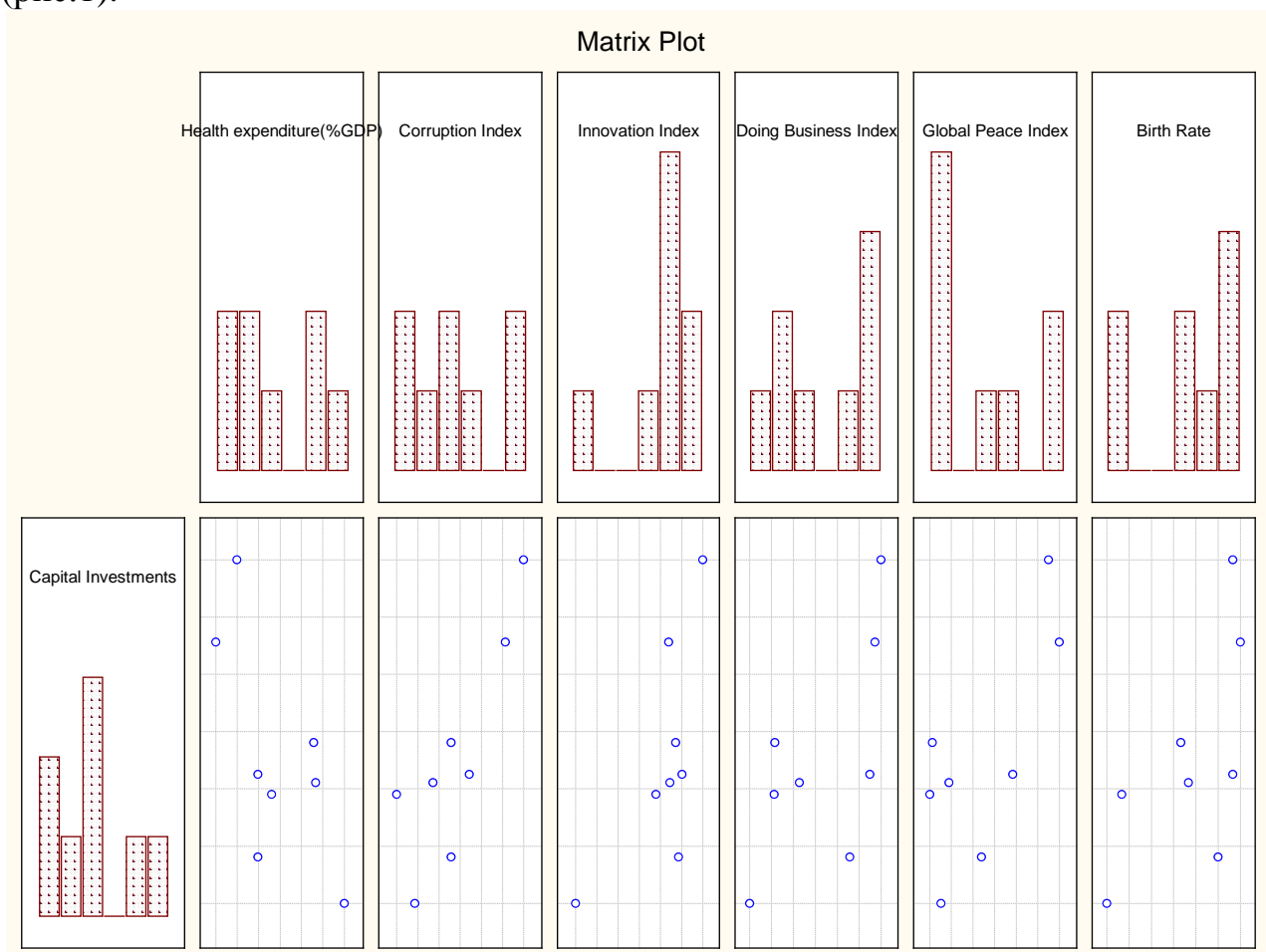


Рисунок 1. Діаграми розсіювання, гістограми.

Далі проаналізуємо нормальність залишків моделі, отримаємо табличку залишків, таблиця 9. Перевіряємо, чи виходять залишки за межі інтервалу $(-3s, 3s)$, де s - емпіричне середньоквадратичне відхилення залишків (в таблиці залишок позначений *). Бачимо, що не виходять. Значення залишків знаходяться в третьому стовпчику таблиці. Середньоквадратичне відхилення залишків дорівнює 0.

Таблиця 9. Таблиця залишків.

Standard Residual Dependent variable: Capital Investments									
	Observed - Value	Predicted - Value	Residual	Standard - Pred. v.	Standard - Residual	Std.Err. - Pred.Val	Mahalanobis - Distance	Deleted - Residual	Cook's - Distance
1...*	189,1000	189,4303	-0,330322	-1,31507	-0,230243	1,413212	5,917196	-11,1271	9,727943
2...*	259,9000	259,5924	0,307556	-0,34313	0,214375	1,403795	5,826979	7,2240	4,045774
3...*	293,7000	294,6270	-0,926971	0,14219	-0,646123	1,257129	4,499715	-3,9924	0,990999
4...*	267,7000	266,1875	1,512482	-0,25177	1,054239	0,917436	1,987513	2,5589	0,216820
5...*	219,4000	219,9387	-0,538712	-0,89244	-0,375496	1,145970	3,591240	-1,4883	0,114437
6...*	273,1000	273,1662	-0,066162	-0,15510	-0,046117	0,951709	2,205378	-0,1182	0,000497
7...*	359,2000	358,6939	0,506134	1,02969	0,352788	1,389300	5,689283	8,1313	5,020573
8...*	412,8000	413,2639	-0,463959	1,78563	-0,323391	1,345586	5,282697	-3,8558	1,058973
Minimum*	189,1000	189,4303	-0,926971	-1,31507	-0,646123	0,917436	1,987513	-11,1271	0,000497
Maximum*	412,8000	413,2639	1,512482	1,78563	1,054239	1,413212	5,917196	8,1313	9,727943
Mean*	284,3625	284,3625	0,000006	-0,00000	0,000004	1,228017	4,375000	-0,3334	2,647002
Median*	270,4000	269,6768	-0,723232	-0,20344	-0,138180	1,301358	4,891206	-0,8032	1,024986

Порівняти розподіл залишків із нормальним розподілом допомагає *p-p*-діаграма, рис. 2.

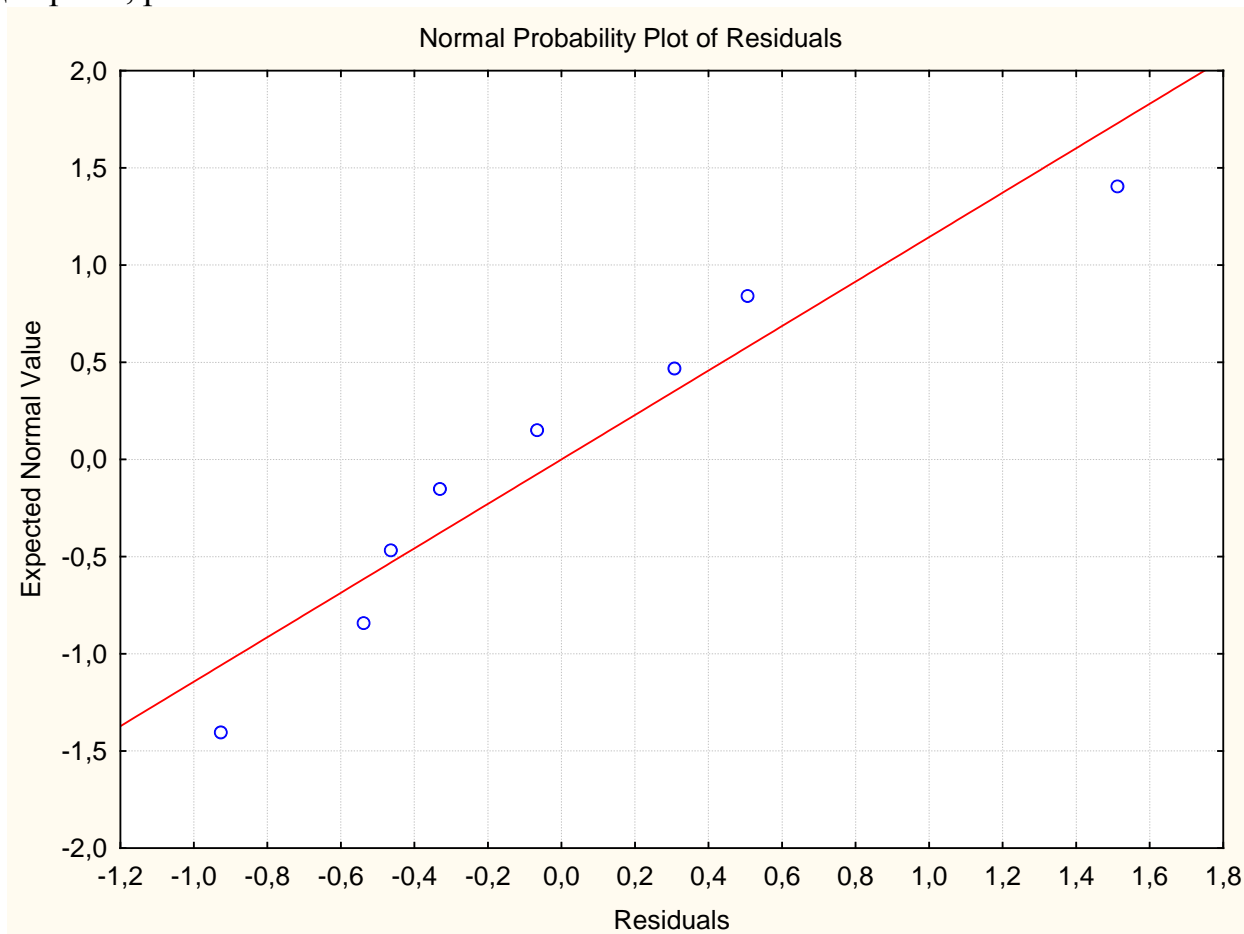


Рисунок 2. P-P діаграма.

Графік показує незначне відхилення від нормального розподілу, отже вважаємо, що гіпотеза нормального розподілу залишків справджується. Цей висновок підтверджує також і гістограма розподілу залишків у порівнянні із нормальним розподілом (рис. 3).

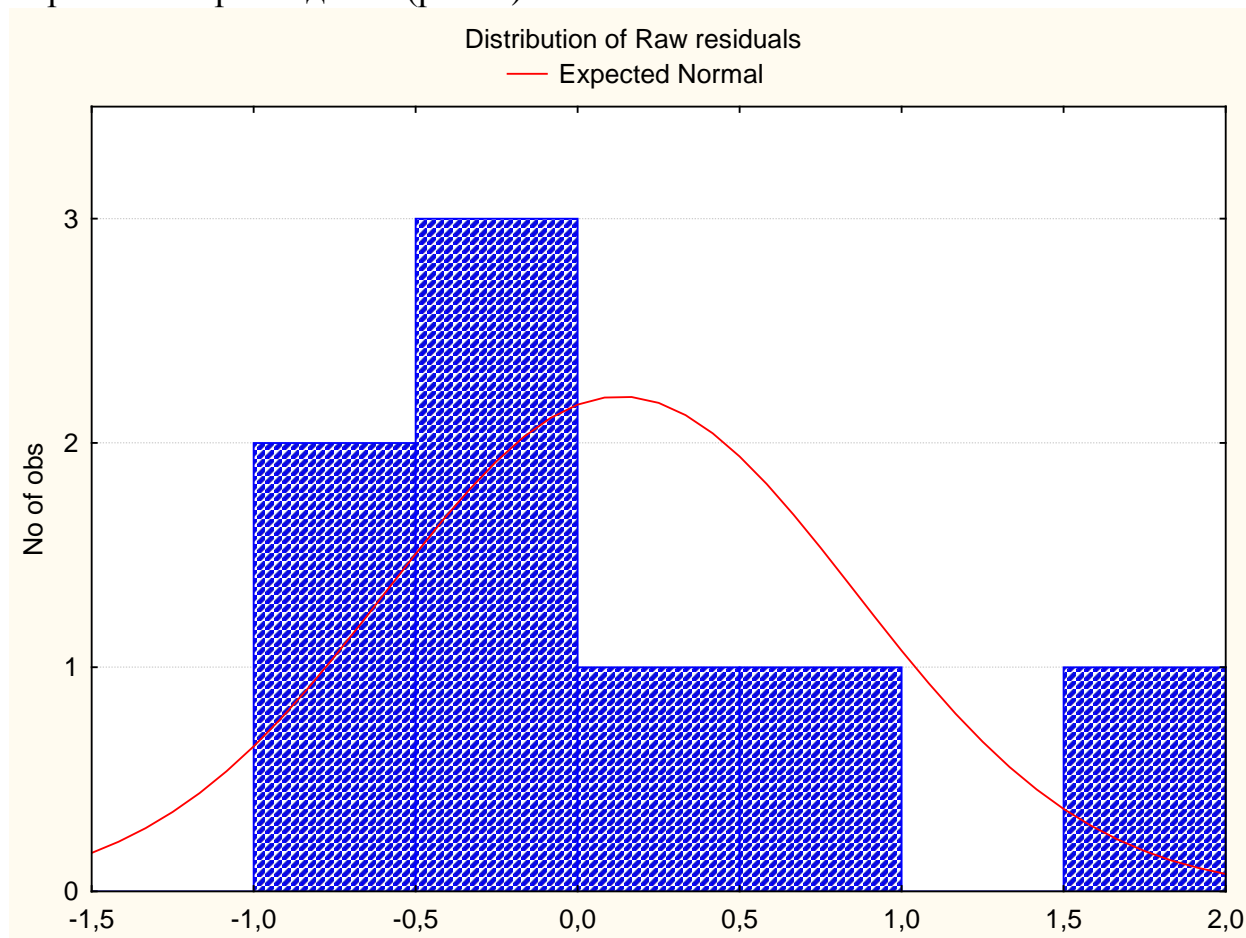


Рисунок 3. Гістограма залишків.

Зауважимо також, що для побудованої регресійної моделі відсутні викиди. Таким чином, можна зробити висновки про статистичну значимість регресійної моделі та, на основі цього зробити прогностичні розрахунки капітальних інвестицій, табл. 10 :

Табл. 10. Передбачуване значення залежної змінної на наступний часовий ряд.

Predicted & Residual Values Dependent variable: Capital Investments									
	Observed - Value	Predicted - Value	Residual	Standard - Pred. v.	Standard - Residual	Std.Err. - Pred.Val	Mahalanobis - Distance	Deleted - Residual	Cook's - Distance
1	189,1000	189,4303	-0,330322	-1,31507	-0,230243	1,413212	5,917196	-11,1271	9,727943
2	259,9000	259,5924	0,307556	-0,34313	0,214375	1,403795	5,826979	7,2240	4,045774
3	293,7000	294,6270	-0,926971	0,14219	-0,646123	1,257129	4,499715	-3,9924	0,990999
4	267,7000	266,1875	1,512482	-0,25177	1,054239	0,917436	1,987513	2,5589	0,216820
5	219,4000	219,9387	-0,538712	-0,89244	-0,375496	1,145970	3,591240	-1,4883	0,114437
6	273,1000	273,1662	-0,066162	-0,15510	-0,046117	0,951709	2,205378	-0,1182	0,000497

7	359,2000	358,6939	0,50 6134	1,02969	0,352788	1,389300	5,689283	8,1313	5,020573
8	412,8000	413,2639	- 0,46 3959	1,78563	-0,323391	1,345586	5,282697	-3,8558	1,058973
Mini mum	189,1000	189,4303	- 0,92 6971	-1,31507	-0,646123	0,917436	1,987513	-11,1271	0,000497
Maxi mum	412,8000	413,2639	1,51 2482	1,78563	1,054239	1,413212	5,917196	8,1313	9,727943
Mea n	284,3625	284,3625	0,00 0006	-0,00000	0,000004	1,228017	4,375000	-0,3334	2,647002
Medi an	270,4000	269,6768	- 0,19 8242	-0,20344	-0,138180	1,301358	4,891206	-0,8032	1,024986

Як бачимо, наразі не існує передумов розраховувати на суттєве зростання капітальних інвестицій, а відтак і економічного росту.

Таким чином, на основі проведеного аналізу можна зробити висновок про високий ступінь достовірності таких рейтингів міжнародних організацій, як Global Innovation Index [15], Doing Business Index, Global Peace Index. Ймовірність похибки при відхиленні від основної гіпотези дуже мала ($p\text{-level} \ll 0,05$). Як зазначено в роботі [16] індекс інноваційного розвитку є неодмінним критерієм для обґрунтування конкурентноспроможності економіки країни на міжнародних ринках. Він розраховується за даними про рівень освіти, кваліфікації, винаходів, технологій. На момент написання статті Україна підсилила свої позиції в загальному рейтингу і займає 43 місце із 126 країн світу. За результатами цього дослідження індекс інноваційного розвитку має найвищий додатній коефіцієнт у формулі множинної регресії. Разом з тим зазначимо, що у даному аналізі індекс корупції виявився менш значущою змінною у порівнянні з іншими.

Список використаних джерел

1. Сейдаметова, Л. Д. Эволюция теории инвестиций / Л. Д. Сейдаметова // Проблемы материальной культуры. Серия: Экономические науки. – 2009. – №156. – С. 57-66. – URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/34984>.
2. Кулініч, Т. В. Інвестиційна привабливість виробничо-господарських структур регіону (методи оцінки та регулювання) : монографія / Т. В. Кулініч; НАН України, Ін-т регіональних досліджень. – Львів. – 210 с.
3. Борщ, Л. М. Інвестування: теорія і практика: навчальний посібник / Л. М. Борщ, С. В. Герасимова. – К. : Знання, 2007. – 685 с
4. Майорова, Т. В. Інвестиційна діяльність: навч. посібник / Т. В. Майорова. – Київ, Центр навчальної літератури, 2009. – 472 с.
5. Губський, Б. В. Інвестиційні процеси в глобальному середовищі / Б. В. Губський. – Київ, Наукова думка, 1998. – 390 с.
6. Маковецкий М.Ю. Инвестиции как ключевой фактор экономического роста/ М. Ю. Маковецкий // Финансы и кредит. – 2007. – № 4 (244). – С. 55-62.
7. Мордвинцев, М. А. Анализ роли и структуры институциональных факторов формирования благоприятного инвестиционного климата в странах с переходной экономикой / М. А. Мордвинцев // Вестн. Ленингр. гос. ун-та им. А.С. Пушкина. Экономика. – 2012. –Т. 6, № 4. – С. 7-8.
8. Doing business. Офіційний сайт.- URL: <http://www.doingbusiness.org/rankings>
9. Index of Economic Freedom. Офіційний сайт.-URL: <http://www.heritage.org/index/ranking>

10. Мельникова, Е. И. Сбережения населения как источник финансирования процессов реструктуризации отечественной экономики/ Е. И. Мельникова // Вестник ЮурГУ. – 2012. – № 44. – С. 74-79.
11. Минакова, И. В. Влияние коррумпированности региональной экономики на доходы и сбережения домохозяйств / И. В. Минакова, А. А. Бурдейный //Реиональная экономика: теория и практика. – 2013. – № 44(323), – С. 28-33.
12. Country eonomy. Офіційний сайт.- URL: <https://countryeconomy.com>. (дата звернення 00.08.2018).
13. Державна служба статистики України. Офіційний сайт.- URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sestr.htm. (дата звернення 00.08.2018).
14. Draper N., Smith H. Applied Regression Analysis. A Wiley-Interscience Publication, 1998. - 736 p.
15. Global Innovation Index. Офіційний сайт.- URL: <http://www.globalinnovationindex.org>.
16. Гернего Ю.О., Підгородецька С.М. Індекси інноваційного розвитку країн світу / Ю. О. Гернего, С. М. Підгородецька //Університетські наукові записки, – 2014. – № 1 (49), – С. 339-346.

Синенко М.А.

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем в економіці,
Чернігівський національний технологічний університет

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ЦІНОУТВОРЕННЯ В УМОВАХ ОЛІГОПОЛІЇ

Ціноутворення є одним із ключових елементів економіки будь-якого рівня. Від наукової обґрунтованості цін залежить рентабельність підприємства, його конкурентоспроможність, обсяг реалізації продукції чи послуг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ціноутворення вважається найбільш складним і водночас найбільш суттєвим аспектом маркетингу. Проблеми ціноутворення вивчались починаючи з класичних робіт основоположників економічної науки А. Сміта, К. Маркса, Д. Рікардо, Дж. Кейса. В роботах названих авторів пропонувався вартісний підхід до формування ціни, який залишається актуальним і на сьогодні (витратна концепція ціноутворення). Крім витратної для формування ціни застосовують ціннісну концепцію, згідно з якою в основу обґрунтування ціни покладено корисність продукції з точки зору споживача. У ряді країн розвинутої економіки прийнятий нормативний підхід до ціноутворення. Таким чином, проблеми ціноутворення залишаються предметом чисельних наукових досліджень зарубіжних та вітчизняних вчених, зокрема Н.І. Верхоглядової, С.Б. Ільїної, Ю.В. Лисенка, [1], Л.Л. Данілової, С.В. Петровської, [2], А. Ф. Павленка, [5], М. С. Чайковської та інших.

Постановка проблеми. В умовах ринку формування ціни - складний динамічний і багатофакторний процес. Цінова політика підприємства залежить від конкурентної структури ринку. Звичайно виділяють чотири типи ринку: чиста конкуренція, олігополія, монополістична конкуренція, чиста монополія. Однак для більшості ринків характерні монополістична конкуренція і олігополія, де кожний учасник у змозі суттєво впливати на ціну продукції. Типом ринку, який викликає найбільший інтерес дослідників, є олігополія, оскільки для нього характерний самий багатий спектр можливих стратегій поведінки його учасників – від цінових війн до явної чи прихованої змови.

Основна риса олігополії – наявність декількох фірм, які ведуть між собою стратегічну взаємодію з метою збільшення їх прибутків. Розрізняють моделі кількісної та цінової олігополії. Класичними прикладами кількісної олігополії є модель Курно та модель Штакельберга, які доцільно використовувати, якщо олігополісти приймають рішення щодо об'ємів випуску продукції. Моделі цінової олігополії використовують, якщо фірми в змозі за невеликі проміжки часу суттєво змінювати об'єми постачань своєї продукції на ринок. Класична модель цінової олігополії була запропонована в 1883 році Ж. Бертраном, згідно з якою кожний олігополіст вважає рівень цін конкурентів даним і незалежно приймає рішення щодо рівня власної ціни. Відомий парадокс Бертрана, суть якого полягає в тому, що при приблизно однакових граничних затратах ринок повністю завойовує фірма, що встановлює мінімальну ціну, рівну величині граничних затрат, і що, відповідно, забезпечує фірмі нульовий прибуток [8].

Як альтернатива моделі Бертрана найбільш відомі наступні моделі.

1. Модель Еджворта, у якій розглядаються фірми з обмеженнями на виробничі потужності.
2. Модель динамічної цінової конкуренції (модель Аксельрода, 1984 рік). У цій моделі процес формування ціни вивчається з точки зору теорії ігор. Було показано, що фірми відмовляються від цінових війн, якщо збільшується ймовірність їх взаємодії в майбутньому, зростає значимість майбутніх прибутків, а одностороннє зниження ціни приводить до незначного збільшення прибутку.
3. Модель з диференційованим продуктом (Шапошник, 2014 рік). На відміну від моделі Бертрана, у якій продукція різних фірм вважається повністю взаємозамінною, що, в свою чергу, приводить до високої цінової конкуренції, в даній моделі продукція різних фірм має певні особливі характеристики (тобто може відрізнятись строком зберігання, способом і часом продажу чи доставки, додатковими послугами, тощо), що впливає на диференціацію цін та пом'якшує конкуренцію.

Відмітимо, що процес формування цін у кожній із розглянутих моделей ґрунтується на концепції конкурентної рівноваги.

При вивченні ринкових систем та процесів, які вони породжують, досить суттєвим є фактор часу, тому доцільно розглядати динамічні моделі ціноутворення. Ціль математичного моделювання полягає в прогнозуванні ринкової рівноваги, тобто знаходженні таких цін, які максимізують прибуток фірм і одностороннє відхилення не вигідне жодній із фірм.

Математична модель. Розглянемо математичну модель, яка дозволяє описати динаміку цін олігополії. Нехай на ринку присутні N фірм-виробників, які пропонують диференційований продукт (тобто продукт різних фірм має певні відмінні характеристики) і які прагнуть максимізувати свій прибуток. Позначимо p_i – ціну, по якій i -та фірма реалізує свій продукт, і, отже, маємо вектор цін $\bar{p} = (p_1, p_2, \dots, p_N)$. Нехай $q_i(\bar{p})$ – функції попиту на продукт i -ої фірми, які залежать від наявних на ринку цін $p_i, i = 1, 2, \dots, N$. Якщо $c_i, (c_i > 0)$ – питомі витрати i -ої фірми, які будемо вважати сталими, то, відповідно, її прибуток

$$\pi_i(\bar{p}) = (p_i - c_i)q_i(\bar{p}).$$

Зробимо наступні припущення відносно функцій попиту $q_i(\bar{p})$.

- 1) Функції попиту невід'ємні та обмежені, $0 \leq q_i(\bar{p}) \leq A; i = 1, 2, \dots, N$.
- 2) $q_i(\bar{p})$ неперервно диференційовані по своїм змінним до другого порядку включно.
- 3) $\frac{\partial q_i}{\partial p_i} < 0; \quad \frac{\partial q_i}{\partial p_j} > 0, i \neq j$, тобто попит i -ої фірми зменшується із зростанням її ціни, але зростає з ростом цін фірм-конкурентів.
- 4) $\lim_{p \rightarrow \infty} q_i(\bar{p}) = 0$.
- 5) Наявне обмеження на спадання функцій попиту,

$$\left| \frac{\partial q_i}{\partial p_i} \right| < M.$$

Динаміку цін опишемо за допомогою різницевого рівняння:

$$p_i(t + 1) = p_i(t) + k_i \frac{\partial \pi_i}{\partial p_i} \quad (1)$$

Відмітимо, що аналогічні моделі розглядалися у роботах Неймарка, Островського [4], Орлової [7]. Різницеве рівняння (1) описує динаміку зміни (адаптації) ціни пропорційно зміні прибутку фірми $\partial \pi_i / \partial p_i$, тобто в момент часу $(t + 1)$ фірма приймає рішення про збільшення ціни, якщо в попередній момент часу t прибуток зростає і, відповідно, зменшує ціну, якщо в попередній момент часу прибуток падає. Коефіцієнт k_i , який будемо вважати сталим, відображає швидкість адаптаційного процесу. Далі ми покажемо, що коефіцієнт k_i є ендегенним керуючим параметром, за допомогою якого можна корегувати ринкові процеси. Таким чином, рівняння (1) відображає кон'юктуру ринку. Математичну модель задану рівнянням (1) можна описати в термінах теорії ігор. Дійсно, в деякий момент часу t розглянемо гру в нормальній формі, що задається множиною гравців N , набором стратегій $\bar{p} = (p_1, p_2, \dots, p_N)$ та функціями вигравів $\pi_i(\bar{p}), i = 1, 2, \dots, N$. З метою стабілізації ринку та забезпечення для кожної фірми (гравців) сталого максимально можливого прибутку для даної гри знайдемо рівновагу Неша. Нагадаємо, що рівновагою Неша називають набір стратегій $(p_1^*, p_2^*, \dots, p_N^*)$, якщо для будь-якого гравця i і будь-якої його стратегії p_i виконується нерівність:

$$\pi_i(p_i^*, p_{-i}^*) \geq \pi_i(p_i, p_{-i}^*),$$

тобто, рівновага Неша – це такий набір стратегій, при якому жодному із гравців не вигідно відхилитись від вибраної стратегії і грати іншу стратегію при фіксованих стратегіях інших гравців, [5].

У даній моделі для того, щоб цінова стратегія \bar{p}^* визначала рівновагу Неша достатньо при $\bar{p} = \bar{p}^*$ виконання умов:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial p_i} = 0; \quad \frac{\partial^2 \pi_i}{(\partial p_i)^2} < 0.$$

Відмітимо, що у випадку олігополії функція попиту здебільшого невідома. Існує декілька способів вирішення цієї проблеми. По-перше, функцію попиту можна знайти шляхом обробки емпіричних даних про об'єми продаж та середню ціну. Функцію попиту також можна побудувати, використовуючи функцію корисності для споживача. Подібна методика застосовувалась у роботі [7].

Розглянемо випадок дуополії. Нехай q_1, q_2 – об'єми виробництва двох різних фірм. Функцію корисності для споживача запишемо у вигляді CES-функції.

$$U(q_1, q_2) = q_1^\beta + q_2^\beta, \quad 0 < \beta \leq 1 \quad (2)$$

Тут параметр β характеризує взаємозамінність продуктів q_1, q_2 . Якщо $\beta = 1$, то це означає, що споживачі вважають продукти повністю взаємозамінними. Зменшення β до нуля означає зниження взаємозамінності продуктів.

Будемо вважати, що бюджет споживача обмежений і максимізуємо функцію корисності за умови:

$$p_1 q_1 + p_2 q_2 = 1 \quad (3)$$

Таким чином, задача відшукування величин q_1 , q_2 , які характеризують попит на товари відповідно першої та другої фірми, зводиться до стандартної задачі на знаходження умовного екстремуму функції (2) за умови (3).

Для знаходження умовного екстремуму запишемо функцію Лагранжа:

$$L(q_1, q_2, \lambda) = U(q_1, q_2) - \lambda(p_1 q_1 + p_2 q_2 - 1).$$

Необхідні умови екстремуму:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial q_1} = \beta q_1^{\beta-1} - \lambda p_1 = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial q_2} = \beta q_2^{\beta-1} - \lambda p_2 = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 1 - p_1 q_1 - p_2 q_2 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Розв'язавши систему (4) відносно невідомих q_1 та q_2 , маємо:

$$q_1 = \frac{p_2^\gamma}{p_1(p_1^\gamma + p_2^\gamma)}; \quad q_2 = \frac{p_1^\gamma}{p_2(p_1^\gamma + p_2^\gamma)}$$

де $\gamma = \beta/(1 - \beta)$.

Отримані вирази для q_1 , q_2 будемо розглядати як функції змінних p_1 , p_2 попиту на продукцію відповідно першої та другої фірм. Тоді прибутки фірм дорівнюють:

$$\pi_1(p_1, p_2) = (p_1 - c_1) \cdot \frac{p_2^\gamma}{p_1(p_1^\gamma + p_2^\gamma)} = \frac{p_2^\gamma}{p_1^\gamma + p_2^\gamma} \cdot \left(1 - \frac{c_1}{p_1}\right);$$

$$\pi_2(p_1, p_2) = (p_2 - c_2) \cdot \frac{p_1^\gamma}{p_2(p_1^\gamma + p_2^\gamma)} = \frac{p_1^\gamma}{p_1^\gamma + p_2^\gamma} \cdot \left(1 - \frac{c_2}{p_2}\right).$$

Цікаво проілюструвати поведінку функції попиту $q_i(p_1, p_2)$ при різних значеннях параметра γ . На рис. 1 зображені графіки функції попиту q_1 на товари першої фірми в залежності від ціни p_2 при фіксованому значенні p_1 для різних значень γ , який характеризує ступінь взаємозамінності товарів.

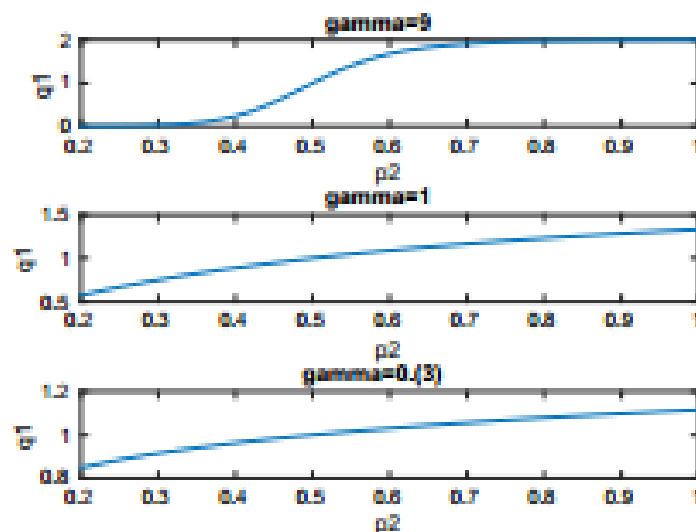


Рисунок 1.

Як видно, з ростом ціни на товари другої фірми p_2 попит q_1 на товари першої фірми, природно, також зростає, але зі зменшенням значення γ вплив p_2 на функцію попиту стає менш суттєвим. Загальна залежність q_1 від p_1, p_2 при різних γ показана на рис.2.

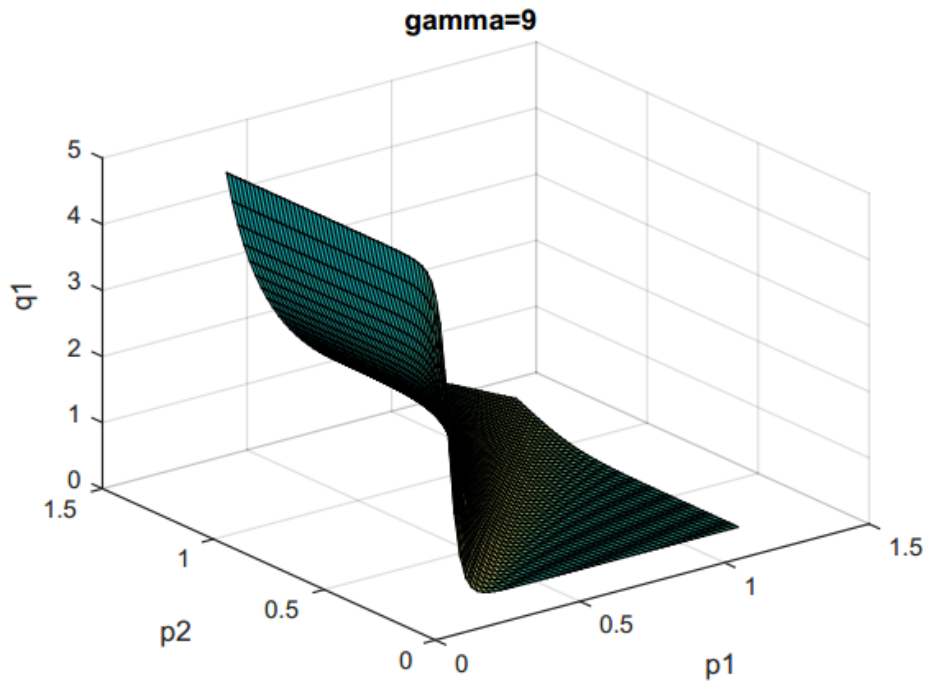


Рисунок 2а.

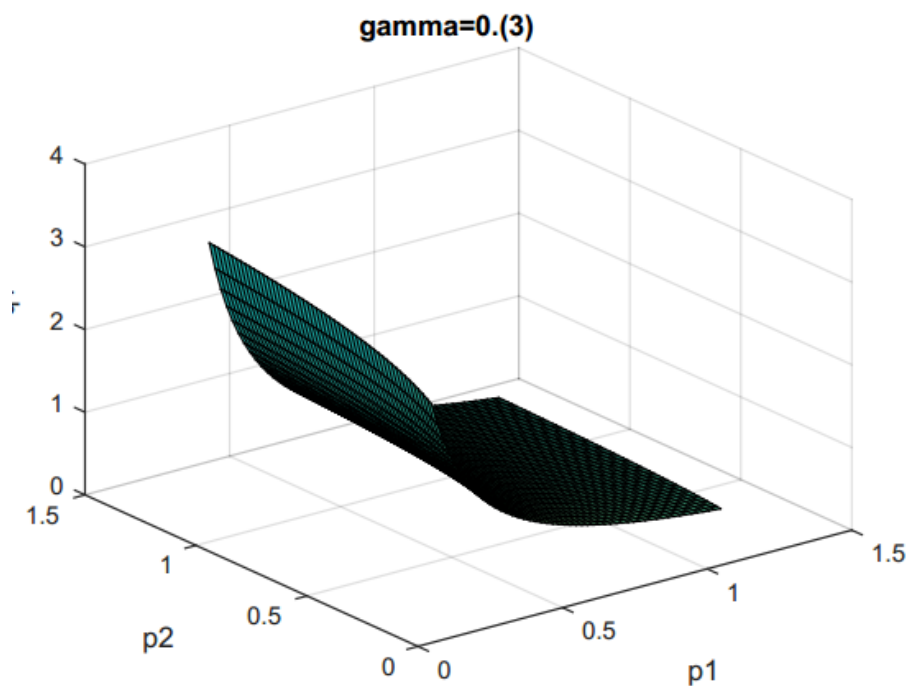


Рисунок 2б.

Визначимо рівновагу Неша розглядуваної моделі. Для цього спочатку знаходимо $\frac{\partial \pi_1}{\partial p_1}, \frac{\partial \pi_2}{\partial p_2}$.

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial p_1} = -\frac{p_2^\gamma \cdot \gamma p_1^{\gamma-1}}{(p_1^\gamma + p_2^\gamma)^2} \cdot \left(1 - \frac{c_1}{p_1}\right) + \frac{p_2^\gamma}{p_1^\gamma + p_2^\gamma} \cdot \frac{c_1}{p_1^2} =$$

$$= \frac{p_2^\gamma}{p_1^2(p_1^\gamma + p_2^\gamma)^2} \cdot (-\gamma p_1^{\gamma+1} + (\gamma + 1)c_1 p_1^\gamma + c_1 p_2^\gamma);$$

$$\frac{\partial \pi_2}{\partial p_2} = -\frac{p_1^\gamma \cdot \gamma p_2^{\gamma-1}}{(p_1^\gamma + p_2^\gamma)^2} \cdot \left(1 - \frac{c_2}{p_2}\right) + \frac{p_1^\gamma}{p_1^\gamma + p_2^\gamma} \cdot \frac{c_2}{p_2^2} =$$

$$= \frac{p_1^\gamma}{p_2^2(p_1^\gamma + p_2^\gamma)^2} \cdot (-\gamma p_2^{\gamma+1} + (\gamma + 1)c_2 p_2^\gamma + c_2 p_1^\gamma).$$

Врахувавши умови $\partial \pi_i / \partial p_i = 0$, $i = 1, 2$, для знаходження рівноваги Неша даної моделі отримаємо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} -\gamma p_1^{\gamma+1} + (\gamma + 1)c_1 p_1^\gamma + c_1 p_2^\gamma = 0; \\ -\gamma p_2^{\gamma+1} + (\gamma + 1)c_2 p_2^\gamma + c_2 p_1^\gamma = 0. \end{cases}$$

В таблиці 1 подані деякі результати чисельного аналізу останньої системи.

Таблиця 1.

	c_1	c_2	p_1^*	p_2^*
$\gamma = 9$	0.1	0.12	0.13	0.14
	0.2	0.15	0.23	0.21
$\gamma = 1$	0.1	0.12	0.31	0.35
	0.2	0.15	0.57	0.48
$\gamma = 0.5$	0.1	0.12	0.51	0.58
	0.2	0.15	0.96	0.78

Так, наприклад, прийнявши питомі витрати першої фірми рівними 0.1 ум.од. ($c_1 = 0.1$) та другої – 0.12 ум. од., ($c_2 = 0.12$) при $\gamma = 9$, ($\beta = 0.9$), тобто коли взаємозамінність продукції фірм є достатньо значною, знаходимо ціни, p_1^* та p_2^* , які забезпечують рівновагу Неша. Як бачимо, в цьому випадку рівноважні ціни незначно перевищують питомі витрати, що обумовлено високою ціновою конкуренцією між фірмами. Однак, зі зменшенням γ значення рівноважних цін зростає. Так, якщо $\gamma = 1$, ($\beta = 0.5$) при таких самих питомих затратах $p_1^* = 0.31$, і, відповідно, $p_2^* = 0.35$, якщо $\gamma = 0.5$, ($\beta = 1/3$), $p_1^* = 0.51$ і $p_2^* = 0.58$.

Щоб дослідити динаміку цін у часі, запишемо математичну модель дуополії, підставивши у рівняння (1) вирази для $\partial \pi_i / \partial p_i$.

$$\begin{cases} p_1(t+1) = p_1(t) + k_1 \frac{p_2^\gamma (-\gamma p_1^{\gamma+1} + (\gamma + 1)c_1 p_1^\gamma + c_1 p_2^\gamma)}{(p_1(p_1^\gamma + p_2^\gamma))^2} \\ p_2(t+1) = p_2(t) + k_2 \frac{p_1^\gamma (-\gamma p_2^{\gamma+1} + (\gamma + 1)c_2 p_2^\gamma + c_2 p_1^\gamma)}{(p_2(p_1^\gamma + p_2^\gamma))^2} \end{cases}$$

Дана модель залежить від п'яти параметрів, три з яких k_1, k_2 та γ є ендогенними. (Відмітимо, що фірми можуть частково впливати на свої витрати, тому параметри c_1 та c_2 також іноді можна розглядати як ендогенні). Параметри k_1, k_2 відіграють адаптаційну роль щодо ціни при зміні цінової політики і фактично дорівнюють частці прибутків (збитків), які будуть

включені у ціну в наступному часовому періоді, а, отже, суттєво впливають на ринок. Продемонструємо це за допомогою часових рядів. Зафіксуємо значення параметрів c_1 , c_2 , γ , а саме, нехай $c_1 = 0.1$, $c_2 = 0.15$, $\gamma = 1$. Початкові значення цін для першої та другої фірми для першої та другої фірми приймемо відповідно $p_{1,0} = 0.25$, $p_{2,0} = 0.52$. (Відмітимо, що для вказаних параметрів стратегії (ціни) рівноваги Неша $p_1^* = 0.33$; $p_2^* = 0.42$). Часові ряди для ціни p_2 представлені на рисунках 3а, 3б, 3в.

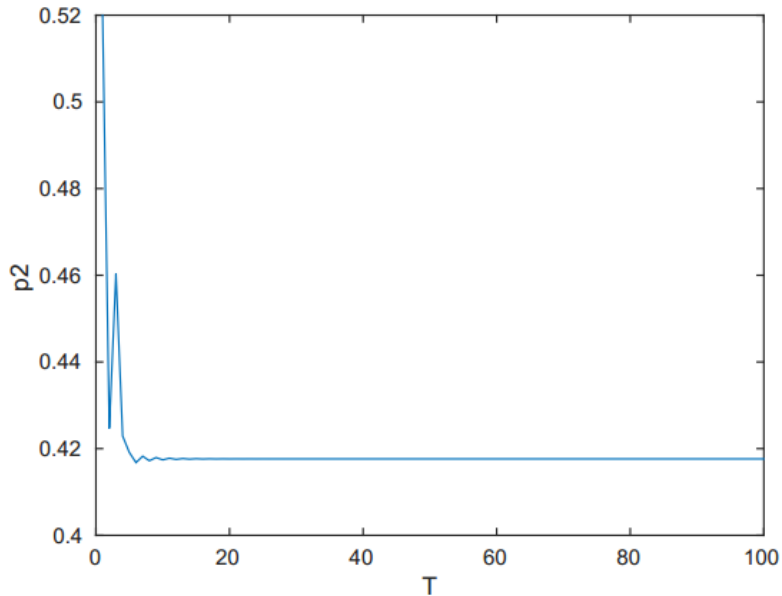


Рисунок 3а. ($k_1 = 0.4$; $k_2 = 0.8$)

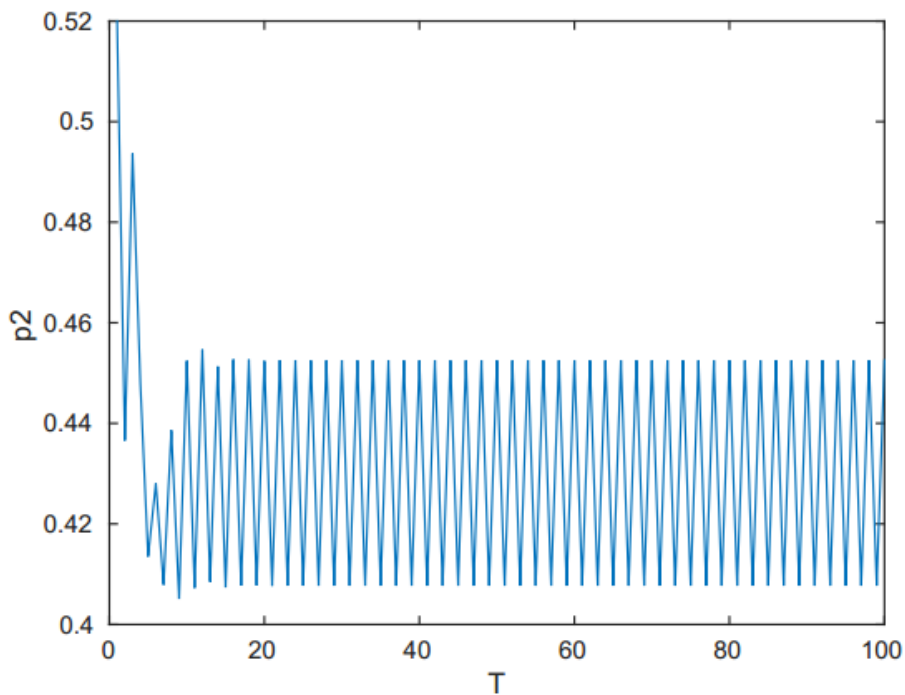


Рисунок 3б. ($k_1 = k_2 = 0.7$)

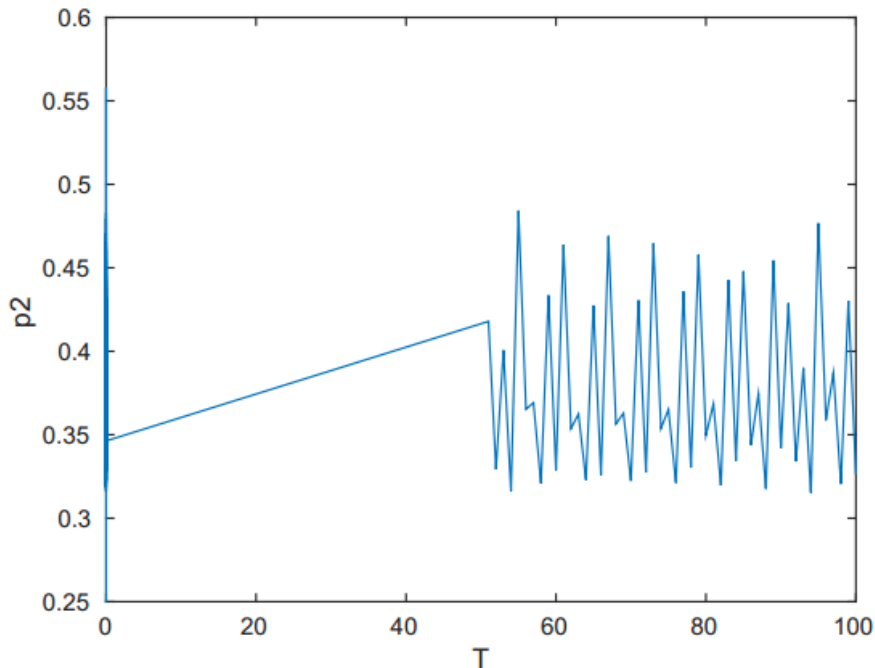


Рисунок 3в. ($k_1 = 0.9$; $k_2 = 1$)

Отже, як переконливо видно з наведених графіків, варіюючи значення параметрів k_1 та k_2 , можна досягти будь-якого з можливих сценаріїв поведінки динамічних процесів. Так, при $k_1 = 0.4$; $k_2 = 0.8$ (рисунок 3а) спостерігається стала траєкторія, тобто на ринку досить швидко встановлюється рівноважна ціна, яка далі залишається незмінною. У випадку $k_1 = k_2 = 0.7$ (рисунок 3б) траєкторія є періодичною і, отже, існують два значення ціни, одне дещо вище, інше нижче рівноважного, які може встановлювати фірма, залишаючись в середньому ефективною. Якщо $k_1 = 0.9$; $k_2 = 1$ (рисунок 3в) спостерігається хаотична динаміка, що, звичайно, є небажаним для реального ринку.

Відмітимо, що одним із способів дослідження залежності поведінки динамічної системи від параметрів є побудова біфуркаційної діаграми (дерева Фейгенбаума, [3], [9]). Наведемо приклад біфуркаційної діаграми розглядуваної моделі для випадку $c_1 = 0.1$; $c_2 = 0.15$; $\gamma = 1$; $k_2 = 1$.

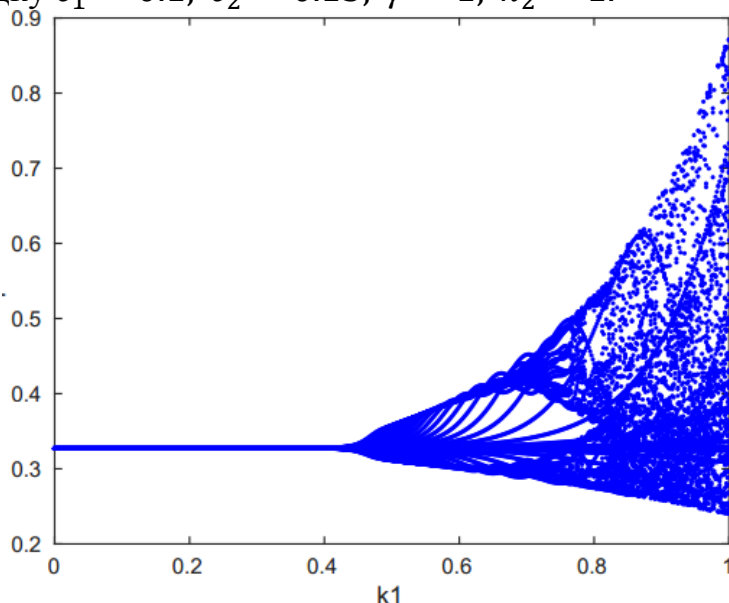


Рисунок 4. Біфуркаційна діаграма, $c_1 = 0.1$; $c_2 = 0.15$

Таким чином, біфуркаційна діаграма наглядно демонструє наявність різних сценаріїв еволюції динаміки цін в залежності ендogenous параметра k_1 . Так, при $k_1 < 0.45$ маємо нерухому точку, що означає стійкість цінової стратегії, яка забезпечує рівновагу по Нешу, $k_1 \approx 0.45$ є точкою біфуркації змінюється - спостерігається сценарій, який дістав назву динамічного хаосу, [9]. Наявність “вікон” на діаграмі характеризує можливість періодичних сценаріїв.

Зазначимо, що модель є досить чутливою до зміни параметрів. Так, якщо, наприклад, $c_1 = 0.1$; $c_2 = 0.12$; $k_2 = 1$ біфуркаційна діаграма має вигляд (рисунок 5):

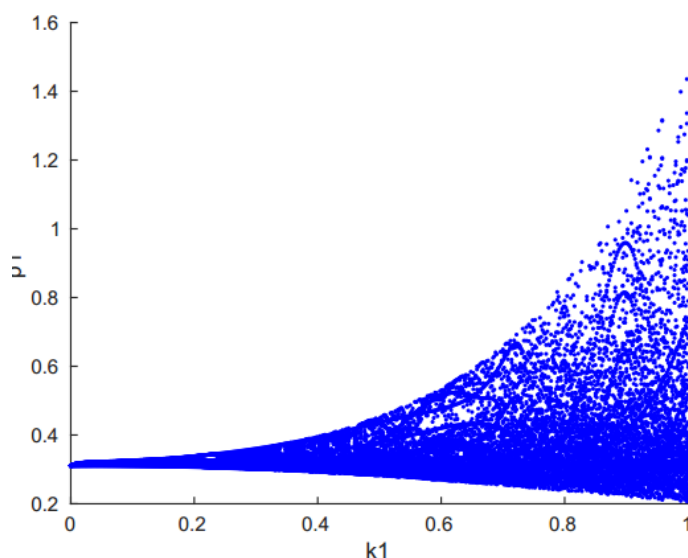


Рисунок 5. Біфуркаційна діаграма, $c_1 = 0.1$; $c_2 = 0.12$

Тут неперіодичні сценарії спостерігаються для будь-яких значень k_1 . Повернути еволюційний сценарій в періодичний режим можна тільки зменшивши значення параметра k_2 .

Висновки. Нами розглянута модель ринкового ціноутворення фірм-дуополістів, при аналізі якої застосовувались елементи теорії біфуркацій та теорії ігор (рівновага Неша). Було показано, що модель може демонструвати досить складні еволюційні сценарії від сталої траєкторії до динамічного хаосу, причому навіть незначний вплив на керуючі параметри здатний суттєво впливати на динаміку, зокрема переводити еволюцію процесу з хаотичного в бажаний періодичний. Слід зазначити, що стійкі рівноважні цінові стратегії спостерігаються, якщо обидві фірми дотримуються виваженої цінової політики, в той час як агресивна поведінка щодо ціни навіть однієї фірми здатна перевести ринок в режим динамічного хаосу.

Список використаних джерел

1. Верхоглядова, Н. І. Основи ціноутворення: навчальний посібник / Н. І. Верхоглядова, С. Б. Ільїна, Н. А. Іваннікова, Я. Я. Слабко, Ю.В. Лисенко. – К. : Кондор, 2007. – 252 с.
2. Данілова, Л. Л. Ціноутворення та маркетингова цінова політика/ Л. Л. Данілова, С. В. Петровська. – К. : КНТЕУ, 2006. – 130 с.
3. Кузнецов, С. П. Динамический хаос/ С. П. Кузнецов. – М. : Физматлит, 2006. – 356 с.

4. Неймарк, Ю.И. О некоторых моделях ценообразования в рыночной экономике / Ю. И. Неймарк, А.В. Островский // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 1999. – №6. – С. 35-41.
5. Павленко, А. Ф. Маркетингова політика ціноутворення / А. Ф. Павленко, В. Л. Корнієв. – К. : КНЕУ, 2006. – 332 с.
6. Петросян, Л. А. Теория игр / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. В. Шевкопляс. - СПб. : БХВ – Петербург, 2012. – 424с.
7. Орлова, Е. В. Модель согласования экономических интересов дуополистов при формировании ценовой политики / Е. В. Орлова // Компьютерные исследования и модели. – 2015. – №6. – С.1309-1329.
8. Филатов, А. Ю. Математические модели несовершенной конкуренции / А. Ю. Филатов, Н. И. Айзенберг. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2012. – 117с.
9. Шустер, Г. Детерминированный хаос. Введение / Г. Шустер. – М. : Мир, 1988. – 240с.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ЕКОНОМІЧНА АНАЛІТИКА.
АСПЕКТИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ**

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

Відповідальний за видання
Комп'ютерна верстка і макетування
Друк

Балюнов О.О.
Шаховніна Н.В.
Тестова Н.А.

Прийнято 16.05.2019. Здано до друку 20.05.2019 р.
Формат 60x84/16 Папір офіс. Гарнітура Times New Roman.
Друк - цифровий.
Ум.-друк. арк. 5,75. Обл.-вид. арк. 4,97.
Наклад 300 прим. Зам. № 1925.020.019

Чернігівський національний технологічний університет
14027 м. Чернігів, вул. Шевченка, 95

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців,
виробників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.