

Ревенко Д.С., к.е.н., доцент,
доцент кафедри економіки та маркетингу
*Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

ФОРМУВАННЯ СТОХАСТИЧНОГО ПІДХОДУ ДО ДІАГНОСТИКИ І МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Ревенко Д.С. Формування стохастичного підходу до діагностики та моделювання стійкості соціально-економічних систем. У статті розглянуто питання формування методу діагностики і моделювання стійкості соціально-економічних систем на основі стохастичного підходу. Основним завданням стохастичного підходу до моделювання стійкості соціально-економічної системи є ідентифікація закономірностей та взаємозв'язків між чинниками зовнішнього середовища і станом соціально-економічної системи. Запропоновано процес стохастичного моделювання стійкості соціально-економічних систем, що складається з декількох етапів. На перших етапах проводиться збирання даних і встановлення зв'язків. Наступним етапом визначають типи зв'язків між подіями. На завершальних етапах використовуються кількісні методи дослідження причинно-наслідкових зв'язків. Визначено, що побудова причинно-наслідкових моделей є здебільшого необхідним попереднім етапом під час комплексного аналізу стійкості соціально-економічних систем за допомогою стохастичного моделювання.

Ключові слова: стійкість, стохастичний підхід, моделювання, чинники оточення, діагностика.

Ревенко Д.С. Формирование стохастического подхода к диагностике и моделированию устойчивости социально-экономических систем. В статье рассмотрены вопросы формирования метода диагностики и моделирования устойчивости социально-экономических систем на основе стохастического подхода. Основной задачей стохастического подхода к моделированию устойчивости социально-экономической системы является идентификация закономерностей и взаимосвязей между факторами внешней среды и состоянием социально-экономической системы. Предложен процесс стохастического моделирования устойчивости социально-экономических систем, который включает несколько этапов. На первых этапах проводится сбор данных и установление связей. Следующим этапом определяются типы связей между событиями. На конечных этапах используются количественные методы исследования причинно-следственных связей. Определено, что построение причинно-следственных моделей является во многих случаях необходимым предварительным этапом при комплексном анализе устойчивости социально-экономических систем с помощью стохастического моделирования.

Ключевые слова: устойчивость, стохастический подход, моделирование, факторы окружения, диагностика.

Revenko D.S. Formation of a stochastic approach to the diagnostics and modeling of the sustainability socio-economic systems. In the article reviewed the questions to formation the method of diagnostics and modeling the sustainability of socio-economic systems based on the stochastic approach. The main problem of the stochastic approach to modeling the sustainability of the socio-economic system is to identify the patterns and interconnections between the factors of the environment and the state of the socio-economic system. The stochastic modeling process of the stability of socio-economic systems that includes several stages is proposed. In the first stages, data are collected and links are established. The next step is to determine the types of relationships between events. In the final stages of research used quantitative methods for investigating cause-effect relationships. Determined that in many cases the construction of cause-and-effect models is a necessary preliminary stage in a comprehensive analysis of the sustainability of socio-economic systems by means of stochastic modeling.

Key words: stability, stochastic approach, modeling, environmental factors, diagnostics.

Постановка проблеми. Діагностика стійкості соціально-економічної системи з використанням класичного детермінованого моделювання дає змогу оцінити рівень стійкості системи, а саме її внутрішнього стану. Детерміноване моделювання не дає відповіді на питання щодо впливу чинників

зовнішнього середовища на систему. Цей підхід досить складний у використанні, на його основі не можуть бути одержані багатofакторні моделі стану соціально-економічної системи, тому за таких умов найбільш адекватним для моделювання є стохастичний підхід.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні стохастичний підхід до моделювання дослідники все частіше використовують для діагностики функціонування соціально-економічних систем. Поряд із популярними методами кореляційного і регресійного аналізу розвиваються підходи, які ґрунтуються на факторному та імітаційному моделюванні, матричних моделях.

Найбільш поширеними методами побудови моделей оцінювання стійкості функціонування соціально-економічних систем різного рівня і масштабів є експертні методи моделювання. Серед науковців, які запропонували і розвинули стохастичний підхід до моделювання стійкості соціально-економічних систем із використанням експертних методів, слід назвати В.М. Порохню, Г.М. Гнатієнко, В.Є. Снитюка, О.В. Броїло, Л.В. Фролова, Т.В. Корніцина, О.П. Овчиннікова, А.Ю. Бец, І.Й. Яремко, О.В. Глушко. Серед більш формалізованих підходів до моделювання стійкості соціально-економічних систем можна вказати застосування дискримінантного аналізу. Цей напрям досліджували такі автори, як Л.А. Федорова, М.Є. Ільїна та А.В. Матвійчук.

Г.Б. Клейнер провів фундаментальні дослідження у сфері моделювання поведінки соціально-економічних системи, зокрема розробив методологію моделювання стійкості соціально-економічних систем різного рівня на основі моделей і методів кореляційно-регресійного аналізу. Його послідовниками є В.П. Нечаєва і Н.К. Васильєва.

Діагностика і запобігання переходу соціально-економічної системи у нестійкий стан та оперативне реагування й управління цим станом залежать від можливостей розпізнавання та аналізу кризових явищ у функціонуванні системи, спроможності управлінського механізму оцінювати нестійкий стан системи і за короткий термін формувати управлінські впливи на вихід системи з негативного стану. Одним з інструментів діагностики і прогнозування стійкості соціально-економічних систем є використання стохастичного підходу в режимі реального часу для аналізу кризових станів системи і формування своєчасних заходів щодо виходу її з цих станів.

Постановка завдання. Мета дослідження – удосконалення інструментарію стохастичного підходу до діагностики і моделювання стійкості соціально-економічних систем. Питання, пов'язані з удосконаленням інструментарію стохастичного підходу, дадуть змогу ефективно використовувати поточні та прогнозовані дані про стан середовища і його вплив на стійкість соціально-економічної системи, а також забезпечити подальший розвиток системи за рахунок використання можливостей зовнішнього середовища.

Виклад основних результатів. Стохастичний підхід полягає у моделюванні взаємозв'язку чинників внутрішнього і зовнішнього середовища соціально-економічної системи на підставі узагальнення закономірностей варіювання кількісних показників

незалежних змінних та детермінант стійкості системи. Кількісні параметри взаємозв'язків устанавлюються через співставлення досліджуваних незалежних змінних із параметрами системи, які є утворювальними чинниками стійкості. Стохастичний зв'язок показує залежність між значеннями факторної ознаки і результуючої, причому одному значенню факторної ознаки може відповідати множина значень результуючої. Основною рисою стохастичного підходу є кількісний аналіз емпіричних даних про розвиток соціально-економічної системи.

Слід виділити основні класи завдань діагностики стійкості соціально-економічних систем, для яких використовується стохастичне моделювання:

- аналіз і діагностика зв'язків між показниками функціонування соціально-економічних систем, дослідження напрямів та інтенсивності зв'язків, формування аналітичної форми зв'язку між показниками;
- дослідження явищ і елементів соціально-економічних систем, їх класифікація та ранжування;
- виявлення, аналіз і моделювання найбільш узагальнюючих показників функціонування та розвитку соціально-економічних систем;
- діагностика загальних умов і закономірностей функціонування та розвитку соціально-економічних систем, їх зв'язок із зовнішнім середовищем.

Для вирішення названих завдань стохастичного моделювання найчастіше використовуються такі економіко-статистичні методи, як кореляційний, регресійний, дисперсійний і кластерний аналіз, методи причинно-наслідкового (каузального) моделювання, компонентний аналіз.

Ураховуючи обмеженість детермінованого підходу до моделювання стійкості соціально-економічної системи, можна говорити про доцільність розвитку стохастичного підходу. Розвиток методології стохастичного моделювання для діагностики й управління стійкістю соціально-економічних систем зумовлений низкою нерозв'язаних задач, передусім неможливістю оцінювання впливу зовнішніх збурень на стан стійкості системи і неможливістю одержання прогнозних оцінок щодо подальшої її поведінки, що пов'язане зі складністю процесів, які виникають у зовнішньому середовищі, та великою кількістю чинників його впливу.

Під час діагностики стійкості функціонування соціально-економічної системи і дослідження негативного впливу чинників зовнішнього середовища, які формують проблеми у стійкості функціонування і розвитку системи, виникає необхідність ідентифікації цих чинників і проблем. Ідентифікація проблем завжди пов'язана із завданнями визначення джерел, причин і параметрів впливу, а також із прогнозуванням розвитку впливу проблемної ситуації на функціонування соціально-економічної системи. Ідентифікація закономірностей та взаємозв'язків між чинниками зовнішнього середовища і станом соціально-економічної системи є основним завдан-

ням стохастичного підходу до моделювання стійкості соціально-економічної системи. Ідентифікація закономірностей та взаємозв'язків між зовнішнім середовищем і станом системи може бути реалізована через вивчення динаміки розвитку ситуації на підґрунті багатовимірного аналізу показників, а також інструментарію причинно-наслідкового аналізу. Причинно-наслідковий аналіз є частиною діагностичного аналізу і має здійснюватися на всіх його етапах. Причинно-наслідковий аналіз будується за допомогою схеми «факт – наслідок»: наслідок – симптом – чинник – причина – першопричина. Механізм причинно-наслідкового аналізу ґрунтується на таких методах моделювання: статистичного аналізу, алгоритмів із самонавчанням, пошуку зв'язків за шаблонами, правил індукції, подібності, причинно-наслідкових графів, логічних методів виключення.

Складність структури процесів у соціально-економічних системах, їх зв'язок і причини виникнення потребують удосконалення методів їх дослідження. На практиці частіше виникає потреба дослідження тих процесів у соціально-економічних системах, які несуть найбільший вплив на функціонування системи, і розглядаються тільки ті причинні зв'язки, під впливом яких ці процеси виникли. Низька ефективність сучасних методів щодо встановлення достовірних причинно-наслідкових зв'язків призводить до низької прогнозованості подій, які відбуваються в соціально-економічних системах, тобто існує об'єктивна невизначеність кількісних оцінок функціонування і розвитку соціально-економічних систем. Розвиток і застосування стохастичних моделей для діагностування залежностей чинників (причин) і станів (наслідків) поведінки соціально-економічних систем дадуть змогу встановити умови (сценарії) розвитку подій у них й ефективно управляти їхнім стійким станом.

Аналіз зовнішніх чинників та закономірностей їхнього впливу на функціонування та розвиток соціально-економічних систем є одним із першочергових завдань під час діагностики та управління їхньою стійкістю. У сучасних умовах вирішення цього завдання пов'язане з пошуком причинно-наслідкових зв'язків і вмінням аналізувати різноманіття взаємопов'язаних, інколи різноспрямованих чинників. Діагностика і встановлення причинно-наслідкових зв'язків у процесах функціонування і розвитку соціально-економічних систем належать до складних задач моделювання, особливо тоді, коли йдеться про формалізацію підходів до їх розв'язання. Формалізація задач моделювання причинно-наслідкових зв'язків у процесах соціально-економічних систем зводиться до оцінювання зміни вхідних параметрів системи під дією причинного впливу, який має кількісний чи якісний характер. Розв'язання цієї задачі особливо ускладнюється за врахування особливостей соціально-економічних процесів, яким властиві такі характеристики, як нелінійність, складність, нестійкість, високий динамізм, невизначеність, уні-

кальність та нестационарність. Причинно-наслідкова модель процесів функціонування соціально-економічної системи повинна складатися з набору змінних, які характеризують причинну дію (вхід), їх значень у часі та значення стану соціально-економічної системи (реакції) під впливом цих змін.

Спостереження за функціонуванням і розвитком соціально-економічної системи S можна представити у вигляді змінних f_1, f_2, \dots, f_k . Змінними будемо називати множину властивостей соціально-економічної системи, яка визначає поведінку системи і взаємодію з іншими системами, процесами або явищами. Змінні системи змінюються з плином часу і фіксуються у кожний момент часу t , тоді стан системи у цей момент часу визначається як $S(t)$. Тобто динаміку розвитку системи можна визначити послідовністю її станів у часі:

$$S(t_1) \rightarrow S(t_2) \rightarrow \dots \rightarrow S(t_n). \quad (1)$$

Соціально-економічна система S змінює свої змінні f_1, f_2, \dots, f_k під впливом різних факторів екзогенної та ендогенної природи. Вихідний фактор, який передує наступним, називається антецедентним фактором. Усі фактори, що розміщені між антецедентним фактором і системою, називаються коваріантами, а умова між досліджуваними параметрами та коваріантами називається стохастичним зв'язком. Якщо на параметр системи впливають два і більше факторів, тоді він називається параметром-колайдером. Фактори екзогенної та ендогенної природи змінюються з плином часу t і фіксуються у вигляді подій e_1, e_2, \dots, e_z , що призводить до зміни стану системи у часі:

$$S(t_1) \xrightarrow{e_1} S(t_2) \xrightarrow{e_2} \dots \xrightarrow{e_z} S(t_n). \quad (2)$$

Крім того, у задачах із дослідження причинно-наслідкових зв'язків може бути діагностовано дві групи факторів:

1) спотворюючі фактори – такі фактори викривляють картину причинно-наслідкових зв'язків між факторами і змінними, оскільки можуть корелювати як з іншими факторами, так і з параметрами системи;

2) побічні фактори – фактори, які можуть бути знайдені за малих вибірок даних і кластерних вибірок, вони корелюють із параметрами системи, але не впливають на їх зміну.

Події, що мають значний вплив на стан системи і можуть бути проаналізовані, називаються фактом. Групи фактів, які зафіксовані й одночасно діють на соціально-економічну систему, називаються класами фактів. Кожний факт може бути описаний набором атрибутів, які описують факти у просторі (g) і часі (t), цей набір атрибутів відрізняє факти один від одного:

$$e_z = (t, g, d_1, d_2, \dots, d_x). \quad (3)$$

Під впливом множини факторів система змінює свій стан і переходить у новий якісний стан, що відображається на стійкості системи. Перехід від одного стану до іншого при зафіксованих фактах впливу факторів внутрішнього чи зовнішнього середовища можна представити як вираз:

$$S(t_1) \xrightarrow{e_1} S(t_2) \xrightarrow{e_2} S(t_3). \quad (4)$$

Тобто події e_1 і e_2 належать до множини відношення наслідків E , ці події пов'язані як $e_1 \rightarrow e_2$, де e_1 – можна назвати причиною, а e_2 – наслідком. Звідси випливає аксіома: всі факти між собою об'єднані причинно-наслідковими зв'язками.

Моделювання стійкості соціально-економічної системи і причинно-наслідковий аналіз впливу на неї чинників зовнішнього середовища є задачею ідентифікації динамічних характеристик складних об'єктів; як і в детермінованому підході, вхідними даними для моделювання є значення вхідного впливу (причини) – $e(t)$ у момент часу t і значення вихідної змінної (реакції системи) $S'(t)$, причому треба враховувати, що зміни можуть бути одночасними t або із запізненням (лагом) $t_{n+\Delta}$, тому тут виникають задачі прогнозування наслідків впливів на стан стійкості соціально-економічної системи вхідних впливів чинників зовнішнього середовища.

Для ідентифікації впливу чинників зовнішнього середовища на стан стійкості соціально-економічної системи на основі стохастичного підходу треба визначити залежність виду:

$$S'(t_n) = F(f(t_1), \dots, f(t_{n-m}), e_z(t_1), \dots, e_z(t_{n-m}), e_{z+w}(t_1), \dots, e_{z+w}(t_{n-m})), \quad (5)$$

де $z = 1, 2, \dots, w$ – досліджувана кількість подій (вхідних змінних);

$n = 1, 2, \dots, m$ – досліджувана кількість серій у динамічному ряді.

Приведена залежність є моделлю досліджуваного процесу і може вважатися адекватною, тоді як одержана функція достатньо близько до вибраного критерію апроксимує реакцію і стан системи та її стійкість.

Встановлення причинно-наслідкових зв'язків і залежностей між явищами і процесами в соціально-економічних системах і їх зовнішньому середовищі для розв'язання задач діагностики та управління стійкістю цих систем повинно ґрунтуватися на чіткій послідовності етапів. На першому етапі формуються дані про стан соціально-економічної системи, її зовнішнє середовище, збирається інформація. На підставі зібраної інформації, теоретичних знань і емпіричних даних будується концептуальна модель соціально-економічної системи. Концептуальна модель – це спрощене аналітичне представлення системи. Потім вибираються параметри, елементи функціонування системи, дається описання чинни-

ків зовнішнього оточення, виділяються з них головні фактори, вибираються обмеження для системи.

На другому етапі проводиться розкладання детермінованої моделі системи для визначення залежностей головних параметрів концептуальної моделі системи від чинників зовнішнього середовища. Оцінюються кількісні та якісні показники основних елементів системи. Розкладені детерміновані елементи моделі виступають як залежні, формалізуються зв'язки між параметрами системи з чинниками зовнішнього середовища, які є пояснюючими змінними для детермінант системи. Проводиться деталізація зв'язків між елементами (детермінантами) моделі і чинниками зовнішнього середовища, оцінюється їх інтенсивність. На цьому етапі моделювання використовується причинно-наслідковий розклад.

У соціально-економічних системах подією називають ситуацію, яка виникла в соціально-економічній системі під впливом комплексу умов і яка чинить вплив на стан процесів у системі та її поведінку у цілому. Комплекс умов, під дією яких відбулася подія, визначає її сутність і настання. Під явищем із позиції причинно-наслідкового аналізу слід розуміти подію, яка під впливом комплексу умов здатна повторюватися і має послідовність певних подій, станів і свій розвиток у часі та просторі.

Як уже зазначалося, функціонування соціально-економічної системи та її стан стійкості можна представити у вигляді комплексу взаємопов'язаних подій $e_t = \{e_1, e_2, \dots, e_z\}$ у момент часу t , причому кожна подія e_z відбувається за умови виконання комплексу подій-умов $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, тоді подію e_z можна представити у вигляді такого розкладу [1, с. 97]:

$$e_z = \bigcap_{i=1}^n P_i. \quad (6)$$

У цьому виразі кон'юнкція означає повне виконання комплексу несуперечних подій-умов $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$. Слід зауважити, що моделювання настання події у соціально-економічній системі на основі умови кон'юнкції є найбільш ефективним інструментом, адже неповне або неточне будь-яке інше формулювання може призвести до хибних висновків про залежність явищ і процесів, що відбуваються у соціально-економічних системах.

Також кожній події-умові P_i відповідає свій набір комплексу подій $\{P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{in}\}$, яка відбувається тільки за виконання умови $P_i = \bigcap_{j=1}^{in} P_{ij}$, тоді подію e_z можна представити у вигляді розкладу:

$$e_z = \bigcap_{i=1}^n \bigcap_{j=1}^{in} P_{ij}. \quad (7)$$

Розклад (6) називається причинно-наслідковим розкладом першого рівня для події e_z , а (7) називається причинно-наслідковим розкладом другого рівня. Процедуру причинно-наслідкового роз-

кладу можна продовжувати необмежено (поглиблювати), всі інші глибші розклади є передісторією для події e_z [1, с. 97].

Якщо за причинно-наслідкового розкладу першого рівня комплексу умов однієї події настає хоча б одна умова причинно-наслідкового розкладу першого рівня іншої події, тоді такі події називають залежними, а зв'язок між ними вважають стохастичним. Якщо за причинно-наслідковим розкладом будь-якого рівня комплексу умов однієї події настає хоча б одна умова причинно-наслідкового розкладу будь-якого рівня іншої події, тоді такі події називають слабо залежними, а зв'язок між ними вважають слабо стохастичним.

На третьому етапі моделювання стійкості соціально-економічної системи стохастичними методами формується цілісна математична модель системи і перевіряється її стійкість формалізованими методами. Стохастичне моделювання соціально-економічних систем передбачає одержання результуючої оцінки у вигляді багатофакторної каузальної моделі, елементами якої є досліджувані фактори. Одержана модель дає змогу кількісно оцінити, яка частина зміни результуючого показника, що описує стан функціонування соціально-економічної системи, зумовлена зміною факторів, від яких він залежить.

Після відбору показників проводиться статистична обробка одержаних даних, яка охоплює стандартизацію показників (індексацию), елімінування тренду і виключення сезонних коливань з використанням фільтрів. Після цього проводиться вивчення системного зв'язку між показниками для встановлення каузальних зв'язків. Для проведення цієї процедури використовується кроскореляційна функція з вибраним часовим лагом. Показники з найбільшими коефіцієнтами кореляції перевіряються на щільність кореляційного зв'язку, це пов'язано з тим, що

коефіцієнт кореляції розраховується для обмеженого числа значень показників і може бути підданий випадковим коливанням або містити похибку.

Наступним етапом є відбір показників із найбільшим значенням коефіцієнту кореляції з відповідним лагом за умови його значущості. Після цього для ключових факторів функціонування соціально-економічної системи будуються регресійні моделі відповідно до причинно-наслідкового розкладу з метою отримання аналітичного рівняння впливу всіх виділених чинників зовнішнього середовища на стійкість функціонування системи. Аналітичне рівняння дає змогу розширити можливості для діагностики стійкості системи і розв'язати основну задачу обмеженості детермінованого підходу, а саме дослідити не тільки внутрішній стан стійкості соціально-економічної системи, а й ступінь та інтенсивність впливу екзогенних чинників зовнішнього середовища на стійкість системи. На підставі багатофакторної моделі також можна проводити аналіз меж стійкості в умовах впливу екзогенних чинників на стан системи і потенціал її стійкості.

На п'ятому етапі завершальним кроком є оцінювання одержаного результату моделювання. Як критерій перевірки моделі на адекватність є перевірка змістовності одержаних оцінок на основі розробленої моделі, їх відповідність реальним умовам функціонування системи.

Висновки. Причинно-наслідкове моделювання не пов'язане з використанням громіздких специфічних методів моделювання, тому до нього може мати доступ широке коло спеціалістів, які працюють у галузі математичного моделювання соціально-економічних систем. Також причинно-наслідкове моделювання дає змогу вирішити важливе завдання інтеграції знань, сформувати результати, доступні для розуміння широкому колу спеціалістів.

Список літератури:

1. Дронь В.С. Встановлення взаємозв'язку між соціально-економічними величинами. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету*. 2012. № 22. С. 96–100.
2. Ревенко Д.С. Модели и методы оценивания устойчивости производственно-экономических систем. *Проблеми і перспективи розвитку підприємництва*. 2015. № 1(8). Т. 1. С. 43–48.
3. Ревенко Д.С. Концепція моделювання діагностики й управління стійкістю соціально-економічних систем. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2016. Вип. 18. С. 194–197.
4. Сергєєва Л.Н., Ревенко Д.С. Управління стійкістю соціально-економічних систем. *Вісник ОНУ імені І.І. Мечникова*. 2016. Т. 21. Вип. 7–1(49). С. 181–186.