

Розділ 4. Економіко-математичне моделювання

становив 118.3 млрд. доларів США та у порівнянні з 2019 роком зменшився на 13.5 млрд. доларів США, тобто на 10.2%. Сальдо торговельного балансу товарів та послуг стало від'ємним та становило 118.3 млрд. доларів США. Але дещо покращилось у порівнянні з 2019 роком на 3.4 млрд. доларів США. Експорт товарів у 2020 році зменшився у порівнянні з 2019 роком на 1,7% (на 841,7 млн. дол. США) і склав 49,2 млрд. дол. США.

Негативним для покращення зовнішньоторговельного балансу України є вплив COVID-19 та відповідні обмежувальні заходи країн у міжнародній торгівлі. Також в Україні спостерігається високий рівень корупції та неефективне управління, що не є сприятливим для ефективної міжнародної торгівлі.

У зв'язку з вищенаведеними даними Україні потрібно наполегливо працювати у напрямку збільшення експортних операцій, одержання позитивного платіжного балансу, наряду із зменшенням нецільового і неефективного використання грошових ресурсів та ліквідації корупції, використовуючи та впроваджуючи інноваційні методи виробництва та менеджменту, прийняття оптимальних управлінських рішень. Зауважимо, що значення коефіцієнтів імпортої залежності і покриття експортом імпорту значно перевищують допустимий рівень протягом майже всього досліджуваного періоду. Негативне сальдо експортно-імпортних операцій за 2006–2020 роки також свідчить про деякі дисбаланси у зовнішньоторгових відносинах України. У зв'язку з цим необхідно розробляти та впроваджувати економічні і політичні рішення щодо збільшення експорту українських товарів та послуг та зменшення імпортої залежності.

4.2. Економіко-математичне моделювання на мікрорівні

4.2.1. Економіко-математичне моделювання процесів функціонування підприємств в умовах невизначеності та ризику

У сучасних умовах глобальної світової економічної кризи, зумовленої коронавірусною інфекцією, особливу увагу потрібно надавати вдосконаленню процесу управління діяльністю підприємств з використанням економіко-математичного моделювання та математичного апарату прийняття рішень в умовах невизначеності та ризику.

Розглянемо економіко-математичну модель процесу функціонування підприємства, використання якої забезпечить одержання оптимального управлінського рішення при умові максимізації його загаль-

Моделі сталого розвитку

ного прибутку від виробничої діяльності. З метою оптимізації процесів функціонування та розвитку підприємств пропонується наступна економіко–математична модель, що враховує стохастичну складову процесів в економічній сфері діяльності. Для її побудови введемо поняття, що будуть використані в подальшому.

Індекси: t — плановий період, i — вид продукції, q — технологія, m — вид товарної продукції, s — ресурс. Множини: D_1, D_2 — технології виробництва. Техніко-економічні коефіцієнти і константи: $C_{iqt}(\theta)$ — вартість виробництва одиниці i -ої товарної продукції, що виготовляється за q -ою технологією в періоді t ; $\bar{C}_{iqt}(\theta)$ — собівартість виробництва одиниці i -ої товарної продукції; $d_{siqt}(\theta)$ — витрати s -го ресурсу на одиницю виробництва i -ої товарної продукції при використанні q -ої технології у прогнозованому періоді t ; $Q_m^1(\theta)$ — обсяг виробництва продукції m -го виду в прогнозованому періоді t для виконання договірних зобов'язань, $Q_m^2(\theta)$ — обсяг виробництва продукції m -го виду для задоволення внутрішньогосподарських потреб і реалізації договірних зобов'язань, $\bar{Q}_m(\theta)$ — максимально можливий обсяг виробництва продукції m -го виду. Змінні величини: $X_{iqt}(\theta)$ — заплановане виробництво i -ої продукції в періоді t , яка виробляється за технологією q ; θ — множина можливих сценаріїв розвитку економічної ситуації та інших стохастичних і некерованих факторів.

Оцінка ефективності розвитку підприємств здійснюється на основі системи економічних показників. Тому в якості критеріїв оптимальності використовують показники: товарна продукція, прибуток і рентабельність. Розглянемо економіко–математичну модель, в якій відображені основні обмеження, що відповідають умовам функціонування підприємств, та використовується критерій оптимальності — прибуток. Така оптимізаційна модель має наступний вигляд:

максимізувати математичне сподівання отриманого прибутку від реалізації продукції

$$M \left(\sum_{i \in D_1} \sum_{q \in D_2} \sum_{t=1}^T (c_{iqt}(\theta) - \bar{c}_{iqt}(\theta)) X_{iqt}(\theta) \right)$$

при виконанні наступних умов:

- 1) по виконанню виробничих завдань і можливості реалізації

виробленої продукції

$$P\left(\theta: Q_{mt}^1(\theta) + Q_{mt}^2(\theta) \leq \sum_{i \in D_1} \sum_{q \in D_1} X_{iqt}(\theta) \leq \bar{Q}_{mt}(\theta)\right) \geq \alpha_{mt}^1$$

$(m \in D_2; \quad t = 1, 2, \dots, T);$

2) по використанню виробничих ресурсів

$$P\left(\theta: \sum_{i=1}^I \sum_{m \in D_1} \sum_{t=1}^T d_{sigt}(\theta) X_{iqt}(\theta) \leq d_s\right) \geq \alpha_s$$

$(s = 1, 2, \dots, S);$

3) по невід'ємності змінних

$$X_{iqt}(\theta) \geq 0; \quad (i \in D_1; \quad q \in \overline{D_1}; \quad t = \overline{1, T}),$$

де α_{mt}^1, α_s — ймовірності виконання відповідних обмежень.

Необхідно зауважити, що при оптимізації складних динамічних систем дуже часто зустрічаються багатокритеріальні задачі. Це пов'язано не тільки з формальними труднощами вибору та обґрунтування єдиного критерію, але і з багатоцільовим характером функціонування економічної системи, коли необхідно приймати до уваги одночасно декілька показників ефективності (максимум прибутку, товарної та кінцевої продукції, рентабельності, мінімум собівартості і т. д.).

Відомо, що співпадіння екстремальних значень двох і більше критеріїв можливе лише при випадковому збігу обставин і в практичних розрахунках їх отримання малоімовірне. Тому виникає задача вибору такого варіанту, який був би відносно однаково ефективним для множини найбільш привабливих критеріїв. Такі задачі називаються багатокритеріальними з векторним критерієм оптимальності.

При розв'язуванні задач даного класу необхідне виконання наступних умов: обґрунтування множини критеріїв для заданої задачі; кількісна оцінка відносної переваги критеріїв або побудова деякої шкали переваг; визначення умов можливого компромісу та обґрунтування методу знаходження компромісного варіанту. Множина можливих критеріїв визначається характерними властивостями для економічного процесу і обґрунтовується на основі логічного аналізу. У даний час для одержання компромісних варіантів існує ряд методів, серед яких особливу увагу заслуговують методи В. Садовського, І. Никовського, І. Саскі, Х. Ютлера, методи послідовних поступок, відносного показника та інші.

Для прийняття оптимальних управлінських рішень можна вико-

Моделі сталого розвитку

ристовувати також критерії прийняття рішень в умовах невизначеності. Критерій Лапласа використовується при умові, коли ймовірності можливих умов реалізації проектів (економічних станів) невідомі, тобто в умовах повної невизначеності. По критерію Лапласа оптимальним рішенням буде таке, що забезпечує

$$\left\{ \begin{array}{l} \max_i \left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m V(a_i, c_j) \right\}, \text{ якщо } V(a_i, c_j) - \text{прибуток} \\ \min_i \left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m V(a_i, c_j) \right\}, \text{ якщо } V(a_i, c_j) - \text{витрати} \end{array} \right.$$

де c_1, c_2, \dots, c_m — стани економічної системи; a_i — можливі варіанти управлінських рішень; m — кількість можливих станів економічної ситуації c_j ($j = \overline{1, m}$). Даний критерій доцільно використовувати в тих випадках, коли різниця між окремими станами системи велика, тобто велика дисперсія значень.

Критерій Вальда є найбільш обережним, оскільки він ґрунтується на виборі альтернативи з усіх найгірш можливих. У зв'язку з цим критерій Вальда часто називають максимінним (мінімаксним).

Якщо результат $V(a_i, c_j)$ відображає втрати особи, що приймає рішення, то за критерієм Вальда оптимальним рішенням буде альтернатива, що забезпечує $\min_i \max_j \{V(a_i, c_j)\}$. Якщо ж $V(a_i, c_j)$ відображає вигреш, відповідно до максимінного критерію, вибирається оптимальне рішення, яке забезпечує $\max_i \min_j \{V(a_i, c_j)\}$.

Критерій Севіджа використовує для аналізу матрицю «співчуття» особи, що приймала рішення у зв'язку із вибором неоптимального рішення $W(a_i, c_j)$, яка обчислюється за наступною формулою:

$$W(a_i, c_j) = \begin{cases} \max_k \{V(a_k, c_j)\} - V(a_i, c_j), & \text{якщо } V(a_i, c_j) - \text{прибуток} \\ V(a_i, c_j) - \min_k \{V(a_k, c_j)\}, & \text{якщо } V(a_i, c_j) - \text{втрати.} \end{cases}$$

Незалежно від того, є $V(a_i, c_j)$ прибутком або втратами, функція $W(a_i, c_j)$ в обох випадках визначає втрати. Тому до $W(a_i, c_j)$ слід використовувати тільки мінімаксний критерій Вальда або будь-який інший критерій для функції втрат.

Критерій Гурвіца встановлює баланс між випадками крайнього

Розділ 4. Економіко-математичне моделювання

оптимізму й крайнього песимізму, порівнюючи обидві альтернативи з допомогою відповідних коефіцієнтів α , та $(1 - \alpha)$, де $0 \leq \alpha \leq 1$. Якщо $V(a_i, c_j)$ представляє прибуток, то вибираємо альтернативу, яка забезпечує

$$\max_i \left[\alpha \max_j \{V(a_i, c_j)\} + (1 - \alpha) \min_j \{V(a_i, c_j)\} \right].$$

У випадку, коли $V(a_i, c_j)$ представляє втрати, критерій вибирає альтернативу, яка зумовлює

$$\min_i \left[\alpha \min_j \{V(a_i, c_j)\} + (1 - \alpha) \max_j \{V(a_i, c_j)\} \right].$$

Параметр α представляє собою показник оптимізму (ступінь впевненості): при $\alpha = 1$, критерій дуже оптимістичний; при $\alpha = 0$ — дуже песимістичний. Значення α ($0 \leq \alpha \leq 1$) може визначатися в залежності від характеру особи, яка приймає рішення, тобто, що їй більш характерно: песимізм або оптимізм.

Критерій Байєса використовується за умови, коли відомий розподіл ймовірностей відбуття станів системи. Оптимальною вважається альтернатива, яка забезпечує екстремальне (min або max) значення даного математичного сподівання:

$$\begin{cases} \max_i \sum_{j=1}^m p_j \cdot \{V(a_i, c_j)\}, \text{ якщо } V(a_i, c_j) - \text{прибуток} \\ \min_i \sum_{j=1}^m p_j \cdot \{V(a_i, c_j)\}, \text{ якщо } V(a_i, c_j) - \text{втрати.} \end{cases}$$

Практичне використання методологічних засад економіко-математичного моделювання з метою оптимізації управлінських рішень, конкурентоздатний вихід українських підприємств на світові ринки забезпечать можливість покращання економічної стабільності та економіки України.

4.2.2. Математичне моделювання функціонування аграрних підприємств

У системі соціально-економічних перетворень, що здійснюються в Україні з часу набуття нею політичної незалежності, особливе місце посідає глибоке реформування сільського господарства, яке зумовлює сучасні аграрні відносини. З переходом агропромислових об'єктів господарювання України на ринкові відносини особливо актуальним пос-

Моделі сталого розвитку

тало питання прийняття ефективних управлінських рішень для забезпечення стабільного функціонування та розвитку аграрних формувань. Розглянемо та обґрунтуємо економіко–математичну модель функціонування сільськогосподарського підприємства, використання якої забезпечить розрахунок та вибір оптимальних рішень в аграрній сфері.

Управлінські рішення приймаються керівництвом підприємства, як правило, на основі аналізу минулого та можливого майбутнього розвитку подій у його господарській діяльності. Ситуаційне управління підприємством ґрунтується на оперативному прийнятті управлінських рішень, виходячи з наявної ситуації, обставин, подій у виробництві й на ринку продукції, пов'язаних із розвитком економіки держави та можливих погодних умов.

Теоретичні та практичні аспекти проблеми ефективного управління сільськогосподарськими підприємствами розглядаються у працях вітчизняних вчених І.Ф.Баланюка, В.Г.Андрійчука, Ю.Я.Лузан, С.Л.Кошель, І.В.Лозинської, Р.В.Ліпського та ін. Праці згаданих авторів носять в основному описовий характер. Для перехідної економіки України, як відмічено у роботі І.Ф.Баланюка, необхідно підвищення рівня організаційного забезпечення дальшого розвитку аграрних відносин (програмне забезпечення, використання здобутків попереднього етапу аграрної реформи, формування системи пріоритетів, підвищення надійності кадрового забезпечення, формування і ефективне використання ринкової інфраструктури в аграрному секторі, здійснення поглибленого моніторингу подальшого розвитку аграрних відносин). В.Г.Андрійчук проаналізував економіку аграрних підприємств України. У роботах Ю.Я. Лузана та І.В.Лозинської проаналізовано проблеми розвитку тваринництва і обґрунтовані методи виходу його із кризи. Вчені розглядають та обґрунтовують методологічні принципи розвитку тваринництва, використання яких зумовить покращання економічних показників даної галузі, а також збільшення обсягів виробництва, рентабельності та конкурентоздатності продукції тваринництва. Р.В.Ліпський аналізує шляхи підвищення праце–ресурсного забезпечення агроформувань. Дані автори, на жаль, не використовують економіко–математичних моделей функціонування та розвитку аграрних формувань. А.М. Гатаулін, Г.В. Гаврилов, Л.А. Харитонова, В.А. Кардаш у своїх роботах розглядають таку можливість, оскільки економіко–математичні моделі представляють собою концентрований вираз загальних взаємозв'язків та закономірностей економічних явищ у ма-

Розділ 4. Економіко-математичне моделювання

тематичній формі. Це дало б можливість змодельовати різні напрямки спеціалізації агроформування та розрахувати оптимальне управлінське рішення. Зауважимо також, як відмічають В.В.Вітлінський та С.І.Наконечний, при менеджменті управлінської діяльності необхідно враховувати вплив зовнішніх факторів, що можуть мати як позитивний, так і негативний вплив на розвиток галузі. Це відображає можливі потенційні ризики, що особливо властиво для сільського господарства, для якого характерні умови невизначеності. На сільськогосподарське виробництво значно впливають природно-кліматичні фактори, які в основному не можуть бути точно передбачені та мають стохастичний вплив на урожайність культур, що вирощуються, і, відповідно, на продуктивність худоби в результаті використання кормової бази та кінцеві результати функціонування агропромислового комплексу.

Побудова економіко-математичної моделі процесу функціонування аграрного підприємства, використання якої забезпечить одержання оптимального управлінського рішення при умові максимізації його загального прибутку від виробничої діяльності. З метою оптимізації процесів функціонування та розвитку аграрних формувань пропонується наступна економіко-математична модель, що враховує стохастичну складову процесів в аграрному секторі. Для її побудови введемо поняття, що будуть використані в подальшому.

Індекси: t — плановий період, r — підперіод періоду, i — рослинна культура, k — тваринна галузь, j — статеві-вікова група тварин, f — варіант продуктивності, v — вид корму, μ — група кормів, p — поживна речовина, q — технологія, m — вид товарної продукції, s — ресурс.

Множини: D_1, D_2, D_3 — технології обробітку відповідних товарних і кормових культур, вирощування (відгодовування) тварин; D_4, D_5 — види рослинної і тваринної товарної продукції; D_l — підмножина товарних культур; \bar{D} — багаторічні трави; $D_1^{(i)}, D_2^{(i)}, \dots, D_n^{(i)}$ — види кормів, які отримують з i -ої багаторічної культури першого, другого, ..., n -го укосів.

Техніко-економічні коефіцієнти і константи: $C_{iqt}(\theta)$ — вартість одиниці i -ої товарної рослинної продукції, що виготовляється за q -ою технологією в періоді t ; $\bar{C}_{iqt}(\theta)$ — собівартість виробництва одиниці i -ої товарної культури; $a_{mjkt}(\theta)$ — вихід продукції m за період t від

Моделі сталого розвитку

від однієї тварини j -ої статеві-вікової групи f -ої продуктивності k -ої галузі, яких утримують за q -ою технологією; $c_{mjfkqt}(\theta)$ — вартість одиниці m -ої продукції тваринництва; $\bar{c}_{jfkqt}(\theta)$ — витрати на утримання однієї тварини без врахування кормів; $\bar{c}_{vjfkqt}(\theta)$ — собівартість виробництва одиниці v -ого виду корму; $d_{sqt}(\theta)$, $d_{svjfkqt}(\theta)$, $d_{sjfkqt}(\theta)$ — витрати s -го ресурсу на одиницю відповідної діяльності; $\gamma_v^1(\theta)$, $\gamma_v^2(\theta)$, ..., $\gamma_v^n(\theta)$ — площа земельних угідь, необхідна для виробництва одиниці v -ого корму при першому, другому, ..., n -го укосах; $K_{jfkmt}(\theta)$ — частина тварин j -ої статеві-вікової групи k -ої тваринницької галузі, яка може в періоді t досягти продуктивності f по основній продукції m ; $Q_{mt}^1(\theta)$, $Q_{mt}^2(\theta)$ — обсяг виробництва продукції m -го виду в плановому періоді t для виконання держзамовлення, а також задоволення внутрішньогосподарських потреб і реалізації договірних зобов'язань.

Змінні величини: $X_{iqt}(\theta)$ — заплановане виробництво i -ої культури в періоді t , яка вирощується за технологією q ; $Z_{jfkqt}(\theta)$ — поголів'я тварин j -ої статеві-вікової групи f -ої продуктивності k -ої галузі, яких утримують за q -ою технологією; $Y_{vjfkqt}(\theta)$ — кількість v -ого корму, отриманого за q -тою технологією, необхідне для відгодівлі тварин j -ої статеві-вікової групи f -ої продуктивності k -ої галузі в періоді t ; $Y_{vjfkqr}(\theta)$ — кількість v -ого корму, що згодовується в r -тому півперіоді періоду t ; θ — множина станів природи та інших некерованих факторів.

Оцінка ефективності розвитку сільськогосподарських підприємств здійснюється на основі системи економічних показників. Тому в якості критеріїв оптимальності використані показники: товарна продукція, прибуток і рентабельність. Фрагмент запропонованої економіко-математичної моделі, в якому відображені тільки основні обмеження і критерій оптимальності — прибуток, має вигляд:

Максимізувати математичне сподівання отриманого прибутку від реалізації рослинної і тваринної продукції

$$\begin{aligned}
 & M \left(\sum_{t \in D_1} \sum_{q \in D_1} \sum_{t=1}^T (c_{iqt}(\theta) - \bar{c}_{iqt}(\theta)) X_{iqt}(\theta) + \right. \\
 & + \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{k=1}^K \sum_{q \in D_3} \sum_{t=1}^T \left(\sum_{m \in D_5} a_{mjfkqt}(\theta) c_{mjfkqt}(\theta) - \bar{c}_{jfkqt}(\theta) \right) Z_{jfkqt}(\theta) - \\
 & \left. - \sum_{v=1}^{\Phi} \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{k=1}^K \sum_{q \in D_2} \sum_{t=1}^T \bar{c}_{vjfkqt}(\theta) Y_{vjfkqt}(\theta) \right)
 \end{aligned}$$

при виконанні умов:

1. По виконанню виробничих завдань і можливості реалізації виробленої продукції

$$P \left\{ \theta : Q_{mt}^1(\theta) + Q_{mt}^2(\theta) \leq \sum_{i \in D_1} \sum_{q \in D_1} X_{iqt}(\theta) \leq \bar{Q}_{mt}(\theta) \right\} \geq \alpha_{mt}^1 \quad (m \in D_4; t = 1, 2, \dots, T).$$

$$P \left\{ \theta : Q_{mt}^1(\theta) + Q_{mt}^2(\theta) \leq \sum_{i \in D_1} \sum_{q \in D_1} X_{iqt}(\theta) \leq \bar{Q}_{mt}(\theta) \right\} \geq \alpha_{mt}^1 \quad (m \in D_5; t = 1, 2, \dots, T).$$

2. По використанню виробничих ресурсів

$$\begin{aligned}
 & P \left\{ \theta : \sum_{i=1}^I \sum_{m \in D_1} \sum_{t=1}^T d_{siqt}(\theta) X_{iqt}(\theta) + \sum_{v=1}^{\Phi} \sum_{q \in D_2} \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T d_{svjfkqt}(\theta) Y_{vjfkqt}(\theta) + \right. \\
 & \left. + \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{k=1}^K \sum_{q \in D_3} \sum_{t=1}^T d_{sjfkqt}(\theta) Z_{jfkqt}(\theta) \leq d_s + \sum_{t=1}^T u_{st}(\theta) \right\} \geq \alpha_s \quad (s = 1, 2, \dots, S).
 \end{aligned}$$

3. По структурі посівних площ:

а) по співвідношенню посівних площ сільськогосподарських культур

$$P \left\{ \theta : \sum_{i \in M_1} \sum_{q \in D_{M_1}} \beta_i^1 d_{s_0iqt}(\theta) X_{iqt}(\theta) - \sum_{i \in M_2} \sum_{q \in D_{M_2}} \beta_i^2 d_{s_0iqt}(\theta) X_{iqt}(\theta) = 0 \right\} \geq \alpha_{M_1 M_2};$$

б) по балансу площ різних укосів однієї і тієї ж багаторічної кормової культури

$$P \left\{ \theta : \sum_{v \in D_1^{(i)}} \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{k=1}^K \sum_{q \in D_2} \sum_{r=1}^R \gamma_v^1(\theta) Y_{vjfkqr}(\theta) = \dots = \sum_{v \in D_n^{(i)}} \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{k=1}^K \sum_{q \in D_2} \sum_{r=1}^R \gamma_v^n(\theta) Y_{vjfkqr}(\theta) \right\} \geq \alpha_{it}$$

($i \in \bar{D}; t = 1, 2, \dots, T$);

Моделі сталого розвитку

в) по формуванню зеленого конвеєра

$$P \left\{ \theta : \sum_{v=1}^{\Phi} \sum_{q \in D_2} \psi_{\mu, v, jfkqtr} Y_{v, jfkqtr}(\theta) \geq \frac{N_{tr}}{N_t} V_{\mu, jfkqt} Z_{jfkqt}(\theta) \right\} \geq \alpha_{jfkqtr}^1$$

$$P \left\{ \theta : \sum_{v=1}^{\Phi} \sum_{q \in D_2} \psi_{\mu, v, jfkqtr} Y_{v, jfkqtr}(\theta) \leq \frac{N_{tr}}{N_t} W_{\mu, jfkqt} Z_{jfkqt}(\theta) \right\} \geq \alpha_{jfkqtr}^2$$

$$(j = \overline{1, J}; \quad f = \overline{1, F}; \quad k = \overline{1, K}; \quad t = \overline{1, T}; \quad r = \overline{1, R}; \quad q \in D_3).$$

4. По обороту стада:

а) по структурі тваринницьких галузей

$$P \left\{ \theta : \sum_{f=1}^F Z_{j+1, fkqt}(\theta) \leq K_{jkqt}(\theta) \sum_{f=1}^F Z_{jfkqt}(\theta) \right\} \geq \alpha_{jkqt}$$

$$(j = \overline{1, J}; \quad k = \overline{1, K}; \quad q \in D_3; \quad t = \overline{1, T});$$

б) по структурі статеві-вікових груп в розрізі продуктивності тварин

$$P \left\{ \theta : \sum_{f=1}^F \sum_{q \in D_3} Z_{jfkqt}(\theta) \leq K_{jfkmt}(\theta) \sum_{f=1}^F \sum_{q \in D_3} Z_{jfkqt}(\theta) \right\} \geq \alpha_{jfk}$$

$$(j = \overline{1, J}; \quad f = \overline{1, F-1}; \quad k = \overline{1, K}; \quad t = \overline{1, T}).$$

5. По формуванню раціонів відгодівлі тварин:

а) по забезпеченню тварин кожної статеві-вікової групи поживними речовинами не менше і не більше заданої норми згідно варіантів продуктивності

$$P \left\{ \theta : \sum_{v=1}^{\Phi} \sum_{q \in D_2} \phi_{pv, jfkqt}(\theta) Y_{v, jfkqt}(\theta) \geq \underline{a}_{pjfkqt} Z_{jfkqt}(\theta) \right\} \geq \alpha_{pjfkqt}^1$$

$$P \left\{ \theta : \sum_{v=1}^{\Phi} \sum_{q \in D_2} \phi_{pv, jfkqt}(\theta) Y_{v, jfkqt}(\theta) \leq \bar{a}_{pjfkqt} Z_{jfkqt}(\theta) \right\} \geq \alpha_{pjfkqt}^2$$

$$(j = \overline{1, J}; \quad f = \overline{1, F}; \quad k = \overline{1, K}; \quad t = \overline{1, T}; \quad p = \overline{1, P}; \quad q \in D_3);$$

б) по структурі споживання окремих груп кормів тваринами кожної статеві-вікової групи

$$P \left\{ \theta : \sum_{v=1}^{\Phi} \sum_{q \in D_2} \psi_{\mu, v, jfkqt} Y_{v, jfkqt}(\theta) \geq V_{\mu, jfkqt} Z_{jfkqt}(\theta) \right\} \geq \alpha_{\mu, jfkqt}^1$$

$$P \left\{ \theta : \sum_{v=1}^{\Phi} \sum_{q \in D_2} \psi_{\mu v jfkqt} Y_{v jfkqt}(\theta) \leq W_{\mu jfkqt} Z_{jfkqt}(\theta) \right\} \geq \alpha_{\mu jfkqt}^2$$

$$(j = \overline{1, J}; f = \overline{1, F}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, T}; \mu = \overline{1, O}; q \in D_3).$$

6. По невід'ємності змінних

$$X_{iqt}(\theta) \geq 0; Y_{v jfkqt}(\theta) \geq 0; Y_{v jfkqtr}(\theta) \geq 0; Z_{jfkqt}(\theta) \geq 0,$$

$$(i \in D_1; q \in D_1 \cap D_2 \cap D_3; v = \overline{1, \Phi}; j = \overline{1, J}; f = \overline{1, F}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}),$$

де $\alpha_{mi}^1, \alpha_{mi}^2, \alpha_s, \alpha_{M_1 M_2}, \alpha_{it}, \alpha_{jfkqtr}^1, \alpha_{jfkqtr}^2, \alpha_{jkqt}, \alpha_{jfk}, \alpha_{pjfkqt}^1, \alpha_{pjfkqt}^2, \alpha_{\mu jfkqt}^1, \alpha_{\mu jfkqt}^2$ — ймовірності виконання відповідних обмежень.

Інтеграція економіки України, зокрема аграрної сфери, у світове господарство і недостатня ефективність функціонування сільськогосподарських формувань зумовлюють необхідність подальшого дослідження оптимізації прийняття оптимальних управлінських рішень. Практичне використання методологічних засад розвитку рослинницької та тваринницької галузей, конкурентоздатний вихід українських підприємств на світові ринки забезпечить можливість покращення економічної стабільності аграрної галузі та економіки України в цілому.

4.2.3. Математичне моделювання депозитно-кредитних операцій комерційних банків

В умовах ринкової економіки для функціонування та розвитку комерційних банків надзвичайно важливим є процес управління депозитно-кредитними операціями. Для прийняття ефективних управлінських рішень необхідно оптимізувати структуру банківських активів та пасивів, тобто залучення грошових ресурсів, котрі визначають ресурсний потенціал комерційного банку, та їх розміщення у прибуткові активи.

Механізм розрахунку оптимального управлінського рішення щодо функціонування комерційних банків пропонують економіко-математичні моделі управління їх депозитно-кредитними стратегіями. В усьому світі застосування математичних методів для розв'язання фінансових проблем уже набуло широкого поширення і з практичного погляду вони є головним інструментом менеджерів банку.

Більшість труднощів моделювання банківської фірми пов'язано з розмаїттям банківських операцій. Як посередник банк обслуговує позичальників і кредиторів, що позичають їм свої фонди. При цьому

Моделі сталого розвитку

банк бере на себе одночасно ризик неповернення виданих кредитів і несподіваного затребування депозитів. Як і будь-яка комерційна фірма банк повинен забезпечувати прибуток своїм акціонерам, головною метою котрих є одержання високих дивідендів. Якщо банківська фірма не буде відповідати цій вимозі, питання про її подальше функціонування буде, скоріше всього, вирішено негативно. Крім того, банківські фірми є найбільш регульованими організаціями і мають задовольняти чимало вимог, що накладаються на неї з боку суспільства в особі контролюючих органів.

Модель банківської фірми має поєднувати два підходи: як до фінансового посередника, котрий повинен з часом максимізувати свою цінність, і як до регульованої організації, яка забезпечує надійну роботу фінансово-кредитної системи країни.

У вітчизняній та зарубіжній літературі дослідженню проблем оптимізації функціонування та розвитку комерційних банків приділяється значна увага. Відомі праці А.М.Мороза, О.І.Лаврушина, М.І.Савлука, А.А.Пересади, Г.Марковіца, Д.Ратнера, В.І.Грушко, І.В.Волошина, З.М.Васильченко, О.Д.Вовчак, К.І.Старовойта та інших. Цікавою є оптимізаційна модель «дохідність–ризик» у фінансовому механізмі інвестиційної діяльності комерційних банків, запропонована Ксенією Старовойт–Білоник. У ній автор ставить за мету максимізацію прибутків банку від формування портфелю банківських активів із врахуванням ризику розміщення банківських коштів, обмежуючи також максимально можливий ризик від даних операцій. Проте у даному дослідженні автор не розглядає оптимізацію залучення грошових ресурсів. Необхідно також відмітити актуальність досліджень оцінки ефективності інвестиційних проектів у банківській діяльності, здійснене З.М.Васильченко та І.П.Васильченко, де розвинуто існуючі методологічні підходи щодо оцінювання ефективності інвестицій з використанням теперішньої та майбутньої вартості грошових потоків. Але, на нашу думку, оптимізацію залучення інвестиційних проектів також потрібно здійснювати разом з оптимізацією залучення грошових ресурсів. Віддаючи належне науковим напрацюванням вітчизняних та зарубіжних учених з цієї проблематики, слід зауважити, що існує потреба в подальшому дослідженні оптимізації депозитно-кредитних стратегій комерційних банків.

Для оптимізації активно-пасивних банківських стратегій використовується наступна економіко-математична модель управління depo-

Розділ 4. Економіко-математичне моделювання

зитно-кредитними стратегіями комерційного банку, що відображає метод розподілу активів.

У зв'язку з тим, що терміни обігу коштів, залучених із певного джерела і розміщених у певний прибутковий актив можуть не співпадати, необхідно розглянути виникнення двох ситуацій:

а) період обігу залучених коштів дорівнює k періодам обігу цих коштів, розміщених в актив;

б) період обігу розміщених коштів дорівнює k періодам обігу цих коштів залучених із певного джерела.

Для опису цих ситуацій будемо вважати, що є m джерел ресурсів різного типу (R_1, R_2, \dots, R_m) і n пунктів розміщення (A_1, A_2, \dots, A_n). Кожний i -ий пункт залучення ресурсів (розміщення ресурсів) характеризується двома параметрами:

T_{ri} — час залучення ресурсів (T_{ai} — час розміщення ресурсів);

C_{ri} — ціна залучення ресурсів (C_{ai} — ціна розміщення ресурсів);

S_i — частина ресурсів, залучених із джерела R_i , які підлягають обов'язковому резервуванню (у відсотках).

Задано матриці k_{ij} і k'_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$; k_{ij} і $k'_{ij} > 1$, при цьому або $k_{ij} = 1$, або $k'_{ij} = 1$. Коефіцієнт k_{ij} показує, скільки разів має бути залучено ресурс із джерела R_i щоб він міг бути один раз розміщений у пункті A_j . Коефіцієнт k'_{ij} показує, скільки разів один раз залучений ресурс із джерела R_i може бути розміщений у пункті A_j . На всі джерела і на всі пункти розміщення накладено умови рівності обсягів ресурсів a_i ($i = 1, 2, \dots, m$) і b_j ($j = 1, 2, \dots, n$) відповідно. Потрібно скласти план залучення ресурсів із різних джерел та розміщення їх у всі можливі активи, щоб сумарний прибуток від цих вкладень був максимальним. Необхідно врахувати вимогу зменшення інтенсивності роботи щодо залучення та розміщення коштів, тобто мінімізації частоти залучення ресурсів для одного вкладення і частоти вкладення при одному залученні.

Нехай x_{ij} — кількість одиниць ресурсу, залученого із джерела R_i і спрямованого в пункт вкладення A_j . Функція цілі визначає сумарний прибуток від спрямування ресурсів, залучених із усіх джерел в усі пункти вкладання, а коефіцієнти цільової функції визначають прибуток від вкладання ресурсів, залучених із джерела R_i та вкладених у пункт A_j , і задаються з огляду на те, що всі ресурси, залучені із джерела R_i , повністю вкладаються в пункт A_j , за винятком частини коштів s_i , які підлягають обов'язковому резервуванню. При цьому вимагається, щоб виконувались співвідношення, котрі виражають обмеженість створе-

Моделі сталого розвитку

них банком активів та пасивів. Вимога невід'ємності кількості ресурсів є природною. Умови мінімізації частоти залучення і вкладення коштів виражаються цільовими функціями.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \rightarrow \max$$

$$d_{ij} = \begin{cases} \left(\frac{S_i}{100} + \left(1 - \frac{S_i}{100}\right) \times (1 + c_{ai} T_{ai})^{k_{ij}} - (1 + c_{ri} T_{ri}) \right), k_{ij} = 1 \\ \left(1 + c_{ri} T_{ri} / \left(1 - \frac{S_i}{100}\right) \right)^{k_{ij}-1} \times \left(\frac{S_i}{100} - 1 - c_{ri} T_{ri} \right) + \left(1 - \frac{S_i}{100}\right) \times (1 + c_{ri} T_{ri}) \right), k_{ij}' = 1 \end{cases}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1}^m (1 - s_i) x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} k_{ij} \rightarrow \min$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} k_{ij}' \rightarrow \min.$$

При цьому передбачається, що загальна сума залучених ресурсів, які підлягають обов'язковому резервуванню, дорівнює сумі всіх вкладень:

$$\sum_{i=1}^m a_i (1 - s_i) = \sum_{j=1}^n b_j.$$

Сформульована модель є багатокритеріальним завданням лінійної оптимізації. Згортання критеріїв дозволяє привести його до стандартного виду завдання лінійного програмування.

Цікавою є також математична модель управління ресурсами банку, побудована на основі методу спільного фонду коштів.

На нашу думку, дані моделі не зовсім адекватно відображають процес депозитних і кредитних стратегій комерційних банків. Необхідно оптимізувати банківські операції щодо оптимізації розміщення грошових коштів за рахунок використання залучених активів при аналізі не тільки їх загальної дохідності, а і враховуючи динаміку прийин-

Розділ 4. Економіко-математичне моделювання

яття рішень у часі. Тому пропонується використання наступної економіко-математичної моделі.

Цільова функція — максимум сумарного прибутку від депозитних та кредитних операцій комерційних банків

$$\sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}^{\Delta t_1} x_{ij}^{t_1} + \sum_{t=2}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}^{\Delta t_2} y_{ij}^{t_2} - \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n v_{ij}^{\Delta t_1} x_{ij}^{t_1} \rightarrow \max.$$

Наступні обмеження моделюють балансові умови залучення та використання грошових ресурсів:

$$\sum_{t_1=t+1}^T \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t_1} + \xi_{ij}^t = R_i^t + c_{ij}^{\Delta t_2} \sum_{t_2}^t y_{ij}^{t_2} \quad i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T}$$

$$(t_1 > t; t > t_2; \Delta t_2 = t - t_2).$$

Обмеження по використанню активів i -го виду

$$\sum_{j=1}^n \sum_{t_1=t+1}^T x_{ij}^{t_1} = R_i^t \quad i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T}.$$

$$\sum_{t=1}^T R_i^t = R_i, \quad i = \overline{1, m}.$$

Обмеження по загальному використанню активів

$$\sum_{t=1}^T R_t = R.$$

Обмеження по виконанню всіх поточних зобов'язань комерційного банку

$$\sum_{i=1}^m \xi_{ij}^t = P_j^t \quad j = \overline{1, n}; t = \overline{1, T}.$$

Обмеження по виконанню загальних зобов'язань комерційного банку

$$\sum_{t=1}^T P_j^t = P_j, \quad j = \overline{1, n};$$

$$\sum_{j=1}^n P_j = P,$$

де $x_{ij}^{t_1}$ — це ресурси, що надходять з i -го джерела та використовуються у j -му напрямку, причому дані ресурси розміщуються у t -му періоді часу та будуть повернені у t_1 -му періоді часу;

ξ_{ij}^t — обсяг поточних пасивів j -го виду, які потрібно виконати у

Моделі сталого розвитку

t -му періоді часу за рахунок активів, що надійдуть із i -го джерела;

R_i^t — це частина ресурсів i -го виду, що будуть використовуватися у t -му періоді часу;

P_j^t — це обсяг пасивів j -го виду, що необхідно сплатити у t -му періоді часу;

$y_{ij}^{t_2^t}$ — це частина ресурсів з i -го джерела, що були використані у j -му напрямку в t_2 -му періоді часу з обумовленим періодом їх повернення у t -му періоді із відповідними відсотками;

R_i — це загальний обсяг активів, що надходитиме з i -го джерела;

R — це загальний обсяг активів комерційного банку;

P — це загальний обсяг пасивів банку.

Коефіцієнт $c_{ij}^{\Delta t_1}$ виражає дохід банку від розміщення одиниці грошових коштів, залучених з i -го джерела і розміщених у j -му напрямку на Δt_1 період часу.

Коефіцієнт $v_{ij}^{\Delta t_1}$ визначає витрати банку від залучення одиниці грошових коштів з i -го джерела та їх розміщення у j -му напрямку на Δt_1 період часу, враховуючи відповідні відсоткові ставки та накладні витрати на обслуговування позик та депозитів.

Оскільки на процес функціонування комерційних банків впливають випадкові фактори, то доцільно розглянути стохастичну економіко-математичну модель їх депозитно-кредитних стратегій:

$$\sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}^{\Delta t_1}(\theta) x_{ij}^{t_1}(\theta) + \sum_{t=2}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}^{\Delta t_2}(\theta) y_{ij}^{t_2^t}(\theta) - \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n v_{ij}^{\Delta t_1}(\theta) x_{ij}^{t_1}(\theta) \rightarrow \max;$$

$$\sum_{t=t+1}^T \sum_{j=1}^n x_{ij}^{t_1}(\theta) + \xi_{ij}^{t_1}(\theta) = R_i^t(\theta) + c_{ij}^{\Delta t_2}(\theta) \sum_{t_2}^t y_{ij}^{t_2^t}(\theta),$$

$$i = \overline{1, m}; \quad t = \overline{1, T}, \quad (t_1 > t; \quad t > t_2; \quad \Delta t_2 = t - t_2);$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{t_1=t+1}^T x_{ij}^{t_1}(\theta) = R_i^t(\theta) \quad i = \overline{1, m}; \quad t = \overline{1, T};$$

$$\sum_{t=1}^T R_i^t(\theta) = R_i(\theta), \quad i = \overline{1, m};$$

$$\begin{aligned}\sum_{t=1}^T R_t(\theta) &= R(\theta); \\ \sum_{i=1}^m \xi_{ij}^t(\theta) &= P_j^t(\theta), \quad j = \overline{1, n}; \quad t = \overline{1, T}; \\ \sum_{t=1}^T P_j^t(\theta) &= P_j(\theta), \quad j = \overline{1, n}; \\ \sum_{j=1}^n P_j(\theta) &= P(\theta),\end{aligned}$$

де θ — параметр, що відображає стохастичність використовуваних показників.

Числовий розрахунок дозволить визначити оптимальну схему залучення та розміщення ресурсів на деякий період часу. Маркетингові дослідження ринку ресурсів дають змогу визначати обсяг коштів, доступних для банку і спрогнозувати ціни покупки та продажу ресурсів на кожній стадії, а також визначити відповідно обсяги поточних активів та пасивів на кожній стадії процесу.

Отже, з метою оптимізації функціонування комерційних банків необхідно впроваджувати нові методи управління активно-пасивними банківськими стратегіями з використанням економіко-математичних моделей.

Моделі сталого розвитку

2. Березька К. М., Неміш В. М. Фінансова математика: Навчальний посібник. Тернопіль: ТНЕУ, 2010. 195 с.
3. Клименко С.М., Дуброва О.С. Обґрунтування господарських рішень та оцінка ризиків : навч. посібник. Київ : КНЕУ, 2005. 252 с.
4. Ілляшенко С.М. Економічний ризик : навч. посібник. 2-е вид., доп., перероб. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 220 с.
5. Клебанова Т.С., Раевнева Е.В. Теория экономического риска : учебное пособие. Харьков : Изд. ХГЭУ, 2001. 132 с.
6. Долінський Л.Б. Фінансові обчислення та аналіз цінних паперів : навч. посіб. Київ : Майстер-клас, 2005. 192 с.
7. Вітлінський В.В., Верченко П.І. Аналіз, моделювання та управління економічним ризиком : навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. Київ : КНЕУ, 2000. 292 с.
8. Івченко І.Ю. Економічні ризики: навчальний посібник. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 304 с.
9. Вітлінський В.В., Наконечний С.І. Ризик в менеджменті. Київ : ТОВ „Борисфен-М”, 1996. 336 с.
10. Райзберг Б.А. Предпринимательство и риск. Москва : Знание, 1992. 62 с.
11. Христиановский В.В., Полшков Ю.Н., Щербина В.П. Экономический риск и методы его измерения. Донецк : ДонГУ, 1999. 250 с.

Розділ 4

4.1.1–4.2.3

1. Економіко–математичне моделювання. Навч. пос. / За ред. О.Т.Іващука. Тернопіль: Економічна думка, 2008. 704с.
2. Державна служба статистики, 1995.
3. Державна служба статистики, 1999.
4. Державна служба статистики, 2007.

Список використаних джерел

5. Основні показники економічного та соціального стану України за 1991–2001 роки. Основні показники економічного та соціального стану України за 1991–2001 роки [Текст] / Національний банк України // Бюлетень НБУ. 2009. №4. 68–75 с.
6. Основні показники економічного розвитку [Текст] / Національний банк України // Бюлетень НБУ. 2012. №10. 46–47 с.
7. Державний та гарантований державою борг України на 31.12.2013р. [Ел.ресурс]/ Міністерство фінансів України. Режим доступу:
www.minfin.gov.ua/file/link/383889/file/debt_31.12.2013.pdf.
8. Зовнішній борг України на кінець 2013 року [Ел.ресурс]/ Національний Банк України. Режим доступу:
www.bank.gov.ua/doccatalog/document?id==71174.
9. Державна служба статистики України, 1996–2020. [Електронний ресурс] / Держстат України – Режим доступу www.ukrstat.gov.ua
10. Указ Президента України «Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» від 30 вересня 2019 р. [Електронний ресурс] / Режим доступу
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>
11. Прожитковий мінімум в Україні [Електронний ресурс] / Міністерство фінансів України Режим доступу
[index.minfin.com.ua/ index/wage](http://index.minfin.com.ua/index/wage).
12. Мінімальна зарплата в Україні [Електронний ресурс] / Міністерство фінансів України Режим доступу
index.minfin.com.ua/ index/salary.
13. Середня зарплата в Україні [Електронний ресурс] / Міністерство фінансів України Режим доступу index.minfin.com.ua/ index/average.
14. В. Malyniak, О. Martyniuk, О. Kurylenko (2019) “Corruption and efficiency of public spending in states with various public

- management types”, *Economic Annals*–XXI: Volum 178, Issue 7–8, pp. 17–27.
15. S. Shevelova, S. Plaskon (2018) “Is the Ukrainian economy’s absorptive capacity appropriate to attract foreign direct investment and facilitate economic growth?”, *International Journal of Emerging Markets* 13 (6), pp. 1928–1947.
 16. Селіверстова О. І. Боргова безпека як елемент фінансової безпеки [Ел. ресурс] / І. О. Селіверстова, О. Ю. Лашенко, С. І. Шапошнікова // Проблеми системного підходу в економіці. Режим доступу:
http://archive.nbuv.gov.ua/e.journals/pspe/2010_3/Laschenko_310.htm.
 17. Рожко О. Управління суверенними боргами як інструмент макроекономічної стабілізації [Текст] / Банківська справа– 2013. №1–12. 46–59 ст.
 18. Новак Е. Введение в методы эконометрики: сборник задач [Текст] / Едвард Новак;: пер. с польск.; под ред. И. И. Елисейевой. М.: Финансы и статистика, 2004. 248 с.
 19. Кучер Г., Калитчук В. Вплив державного боргу на економічне становище в Україні//Вісник КНЕУ. 2007. №1. С.45–47.
 20. Вахненко Т. Концептуальні засади управління зовнішнім національним боргом України//Економіка України. 2007. № 1. С.14–24.
 21. Г.Кармелюк, С.Пласконь, Г.Сенів. Оптимізація управління банківськими операціями. / Технологический аудит и резервы производства. №3/3 (17), 2014, с.14–17.
 22. Ganna Karmeliuk, Svitlana Plaskon. Econometric analysis dependence of the external debt of Ukraine from import, export and net export. / *Quantitative Methods in Accounting and Finance*. 2016. p. 66–75.
 23. Ganna Karmeliuk, Svitlana Plaskon. Econometric modeling of the external debt of Ukraine. / *Quantitative Methods in Accounting and Finance*. 2016. №434. p. 63–68.

Список використаних джерел

24. Чабан В.В. Рівень життя населення як показник стану економіки країни // Економічний вісник університету 2016. №31(1) С.183–189.
25. Г.І.Кармелюк, С.А.Пласконь, Г.В.Сенів. Моделювання взаємозв'язку державного та гарантованого державою зовнішнього боргу України з дефіцитом бюджету і витратами та заощадженнями населення/Журнал європейської економіки: Тернопіль 2017. Том 16 №1 (60) С.58–80.
26. Г.І.Кармелюк, С.А.Пласконь, Г.В.Сенів. Математичне моделювання впливу зовнішнього боргу України на рівень життя населення // Вісник ТНЕУ: Тернопіль. 2017. №1. С.21–38.
27. Лаговський В.В. Статистичний аналіз динаміки рівня заробітної плати в Україні / Ефективна економіка. № 6. 2017. [Електронний ресурс]/Доступ: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=5643>
28. Кравчук А.О, Купівельна спроможність заробітної плати як основа фінансової стабільності держави / Фінансові дослідження. № 1 (2). 2017. С. 29–37.
29. Алавердян Л. М., Романенко О. В. Сучасні реалії та перспективи розвитку зовнішньої торгівлі України з іншими країнами світу. Ефективна економіка. 2019. № 4 С. 1–10. Режим доступу
30. Дзюбановська Н.В. Проблеми вимірювання зовнішньої торгівлі країни // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки». 2016. Вип. 19. Ч. 1. С. 22–25.
31. Голубова Г.В. Статистичний аналіз зовнішньої торгівлі України // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія Економічна. 2014. № 1096, вип. 86, сер. «Економічна». С. 89–94.
32. Краснодєд Т.Л. Аналіз експортно–імпортних операцій України на сучасному етапі // Ужгородський національний університет. 2018. Вип. 22. Ч. 2. С. 32–35.

Моделі сталого розвитку

33. Бутко М. Методологія оцінки ролі експортного потенціалу в економічному розвитку регіону [Електронний ресурс] / М. Бутко, М. Козік // Економіст. 2015. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/jpdf/econ_2015_10_4.pdf
34. Михайлов В.С. Деякі методологічні питання побудови індексів зовнішньої торгівлі в Україні / В. Михайлов // Статистика України, 2004. № 2. С. 21–23.

4.2.4

1. Лук'яненко І. Прогнозування податкових надходжень за допомогою моделей корегування помилки / І. Лук'яненко, Ю. Городніченко // Фінанси України. 2001. № 7. С. 89–9]
2. Березька К. М. Деякі аспекти прогнозування обсягів портфельних інвестицій в Україну / К. М. Березька, В.В. Маслій // Матеріали VIII-ої міжнародної конференції «Актуальні проблеми економіки 2014», м. Київ, 12 грудня 2014 р. К.: Національна академія управління, 2015. С. 7 – 12.

4.2.5–4.2.7

1. Братусь А. С., Новожилов А.С., Платонов А. П. Динамические системы и модели биологии. Москва : Физматлит, 2010. 400 с.
2. Алілуйко А.М. Дослідження динаміки взаємодії підприємств з використанням конкурентної моделі Лоткі–Вольтерра. Східно–Європейський журнал передових технологій. 2013. №1/3 (61). С. 25–29.
3. Алілуйко А.М. Дослідження конкурентної взаємодії на ринку послуг мобільного зв'язку. Інноваційна економіка. 2013. №2 (40). С. 221–226.
4. Vossara N. Modeling complex systems. New York : Springer–Verlag, 2003. 397 p.
5. Колесников А. А. Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. Москва : КомКнига, 2006. 240 с.