

РОЗДІЛ 8

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 339.972:519.

Ковальчук О. Я.
Періг В. М.

Тернопільський національний економічний університет

ЕКОНОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Досліджено можливості застосування інструментів математичного та комп'ютерного моделювання для комплексного вимірювання стійкості. Побудовано факторну модель за значеннями основних статистичних показників сталого розвитку країн світу за 2016 р. На основі значущих чинників сталого розвитку розроблено специфікацію дискримінантної моделі для Індексу людського розвитку.

Ключові слова: сталий розвиток, факторна модель, дискримінантний аналіз, комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми. Концепція сталого розвитку швидко розвивалася протягом останніх десятиліть. Той факт, що світ стикається з такими антропогенними ефектами, як зміна клімату, виснаження ресурсів та деградація земель, більше не можна ігнорувати. Екологічні питання стають усе більш помітними під час ухвалення політичних рішень. Багато країн світу вже прийняли план пом'якшення наслідків зміни клімату з акцентом на зменшенні викидів парникових газів.

Однак концепція сталого розвитку охоплює ширший спектр людської діяльності. Це екологічний вплив на природні екосистеми, а також на економічну стабільність та соціальну цілісність. Необхідність урахування всіх трьох основних напрямів сталого розвитку призводить до додаткової складності в питанні вимірювання стійкості. Сучасні вчені постійно дискутують щодо необхідності створення нової сфери досліджень, яку називають «стійкість» [1; 2]. Це дає можливість розробити цілісну базу знань для моделювання та вимірювання стійкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченням питань забезпечення сталого розвитку та розроблення оптимальних наборів індикаторів для його вимірювання займалися багато науковців. Серед них Л. Андріантатісахолініна, В. Куїкоглу, Ю. Філіс, С. Белл, С. Морс, П. Буланжер, Т. Брекет Х. Боссел [3–6] та інші зарубіжні й вітчизняні вчені.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на зростаючу обізнаність щодо сталого розвитку, ефект стійкості до навколишнього середовища (як частина науки про стійкість) ще не визначений через складність проблеми інтеграції соціально-економічних аспектів. Окрім того, недостатньо вивченими залишаються такі питання: забезпечення рівних можливостей для всіх; економічної нерівності, зумовленої класовими та расовими розбіжностями; гендерного диспаритету; диспаритету валют та заробітної плати тощо. Дотепер основним показником щасливого життя вважали економічний добробут, виміряний валовим внутрішнім продуктом на душу населення. Однак таке оцінювання є справедливим лише для країн із низьким рівнем економічного розвитку. У високорозвинених державах рівень задоволення життям значно більше залежить від можливостей покращення якості життя, забезпечення балансу між економічним добробутом та особистими свободами.

Тому на сучасному етапі доцільним є застосування більш формального (математично обґрунтованого) підходу до визначення прогресу, пов'язаного із забезпеченням сталого розвитку, за наявності кількох суперечливих цілей. Це дасть можливість отримати більш глибоке розуміння самого процесу та створити науково обґрунтовану базу для політиків, що ухвалюють рішення. Математичне моделювання може стати корисним інструментом для кращого розуміння та аналізу процесу сталого розвитку.

Метою статті є побудова економіметричних моделей для комплексного дослідження взаємозв'язків системи «соціум – економіка – природа» та вирішення проблем інтеграції різних аспектів сталого розвитку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Масштабні та часові виміри нагальних проблем сталого розвитку є безпрецедентними у трьох аспектах:

– ніколи раніше людство не зазнавало таких глибоких наслідків глобалізації;

– важливість людського суспільства і таких законів його існування, як ринкові механізми, порівнюють із характеристиками природних систем;

– інструменти, розроблені суспільством і наукою для формування політики, ухвалення рішень та управління, були спрямовані на короткостроковий та середньостроковий періоди, тому неадекватно оцінювали перспективи сталого розвитку для майбутніх поколінь.

Сьогодні з'явилась нова сфера досліджень під назвою «моделювання сталого розвитку» (sustainometrics), завдання якої полягає у моделюванні та вимірюванні стійкості [2; 7]. Вона вивчає методи визначення прогресу в досягненні цілей сталого розвитку. Інструменти моделювання сталого розвитку є застосовними для будь-яких проєктів, які мають вимірювані показники у будь-якому масштабі вирішення проблем проєктування, планування чи сталого розвитку (від рівня підприємства до всесвітніх вимірів). Однак сьогодні актуальним питанням залишається вдосконалення існуючих та розроблення нових наукових підходів, інструментів та методологій сталого розвитку.

Сьогодні використовують п'ять основних категорій моделей для опису стійкості (сталого розвитку): кількісні (бази даних, математичне, статистичне, економічне та комп'ютерне моделювання), візуалізація (діаграми Венна, графічне представлення, рисунки та малюнки), концептуальні (конкретні

поняття та теорії), моделювання стандартизації (показники, еталонні значення та цілі) та фізичне моделювання (зменшена або збільшена фізична версія об'єкта чи системи, призначена для візуалізації та подальшого дослідження). Також сучасними науковцями запропоновано новий підхід до моделювання стійкості, який базується на використанні постійно зростаючих потужностей інформаційних технологій та досягнень теорії інформації, які дають можливість консолідувати дані та знання з економіки, екології та соціальних наук [7].

Для визначення основних чинників сталого розвитку використано такі статистичні показники 218 країн світу за 2016 р. [8–16]: Індекс людського розвитку (Human Development Index, HDI); очікувана тривалість навчання дітей шкільного віку (Expected years of schooling); середня тривалість навчання дорослого населення (Mean years of schooling, MYS);

валовий внутрішній продукт на душу населення (GDP per capita); Індекс Джині (Gini Index); Індекс тероризму (Ranked of terrorism); Індекс корупції (Rank of corruption, RC); Індекс торгівлі (Enabling Trade Index, ETI); доступність і якість транспортної інфраструктури (Availability and quality of transport infrastructure); наявність і використання інформаційно-комунікаційних технологій ІКТ (ICT); Індекс соціального прогресу (Social Progress Index); доступність знань (Access to Basic Knowledge, ABK); охорона здоров'я (Health and Wellness); особиста свобода і свобода вибору (Personal Freedom and Choice, PFC); толерантність (Tolerance, T); Індекс глобальної конкурентоспроможності (Global Competitiveness Index); Індекс економічної свободи (Ranking of the world by economic freedom, REF); Глобальний Індекс нерівності (The Global Peace Index records a less peaceful and more unequal world); кількість населення (Population); міграція (Migrants); рейтинг країн за Індексом щасливої планети (HPI Rank); Індекс щасливої планети (Happy Planet Index); роки щасливого життя (Happy Life Years, HLE); екологічний слід (Footprint, F); нерівність можливостей (Inequality of Outcomes, IO); очікувана тривалість життя з урахуванням нерівності (Inequality-adjusted Life Expectancy, IALE); благополуччя з урахуванням нерівності (Inequality-adjusted Wellbeing, IAW).

Факторна модель сталого розвитку країн. Величини, які визначають значення та характеристики (фактори) сталого розвитку (прогресу), неможливо виміряти безпосередньо. Окрім того, сьогодні остаточно не визначено не лише перелік, а й оптимальну кількість та реальний зміст цих факторів. Насправді їх кількість може бути в рази меншою за кількість вимірюваних ознак, які використовують для оцінювання стандартів життя.

Для пошуку передбачуваних і неочевидних закономірностей, спричинених впливом зовнішніх (внутрішніх) чинників на динаміку показників сталого розвитку, виявлення та вивчення статистичного зв'язку виділених ознак із суттєвими факторами використано один із методів факторного аналізу – метод головних компонентів [17, с. 153].

Для кожного з виділених факторів визначено навантаження вимірних ознак. Отримані факторні навантаження можна інтерпретувати так, як кореляції між аналізованими показниками та факторами. Тісноту зв'язків оцінюють за величиною абсолютного значення факторного навантаження (рис. 1).

У результаті застосування факторного аналізу для вивчення вагомих чинників впливу на глобальний сталий розвиток виділено 2 фактори. Із першим із них найтісніше пов'язані такі: Індекс людського розвитку, нерівність доходів, очікувана тривалість життя з урахуванням нерівності, очікувана тривалість навчання дітей шкільного віку та доступність знань. На другий виділений фактор найбільше впливають показник корупції і ВВП на душу населення для заданого мінімального факторного навантаження 0,7. Виділені фактори можна трактувати соціальними (фактор 1) та економічними (фактор 2) чинниками сталого розвитку, що підтверджує і графік факторних навантажень (рис. 2).

Variable	Factor 1	Factor 2
HDI	0,884516	0,435184
Happy Life Years	0,687130	0,661293
Footprint	0,565247	0,594708
Inequality of Outcomes	-0,873233	-0,418710
Inequality-adjusted Life Expectancy	0,853880	0,393271
Inequality-adjusted Wellbeing	0,520201	0,690018
GDP/capita (\$PPP)	0,402834	0,799481
Expected years of schooling	0,284345	0,143061
Mean years of schooling	0,883171	0,299606
Corruption	0,423172	0,822170
Enabling Trade Index	0,578123	0,703026
Transport infrastructure	0,490810	0,582846
ICT	0,796148	0,543051
Access to Basic Knowledge	0,925891	0,174293
Health and Wellness	0,053029	0,622168
Personal Freedom and Choice	0,489358	0,748425
Tolerance and Inclusion	0,272274	0,791815
Economic freedom	0,432982	0,657479
Expl.Var	7,108605	6,377558
Prp.Totl	0,394922	0,354309

Рис. 1. Таблиця факторних навантажень

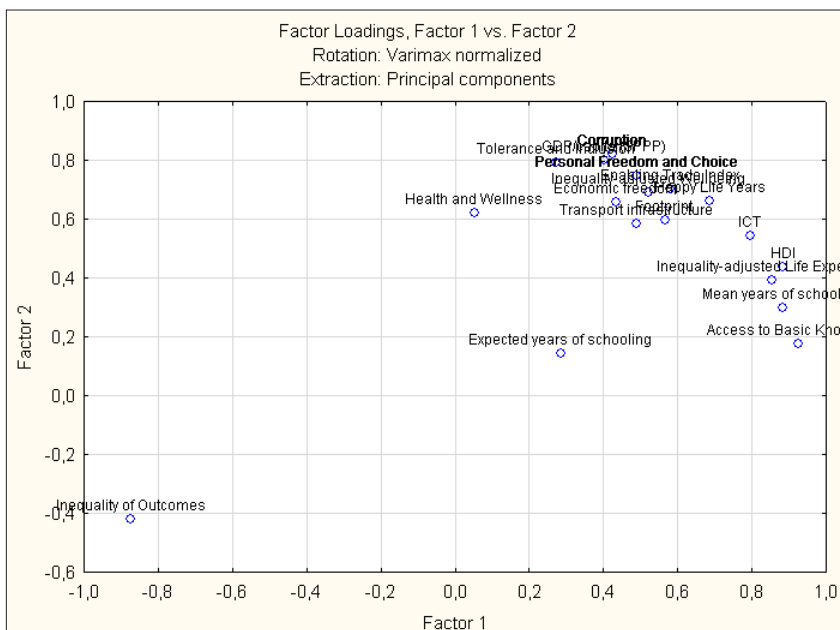


Рис. 2. Графічне представлення факторних навантажень

Для установлення значущості виділених факторів проведено аналіз власних значень факторів (рис. 3).

Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	12,15230	67,51280	12,15230	67,51280
2	1,33386	7,41033	13,48616	74,92313

Рис. 3. Власні значення виділених факторів

Перший виділений фактор пояснює 68% дисперсії, другий – 7%. Разом вони описують 75% дисперсії, тобто три чверті масиву даних. Це означає, що проведена факторизація неповна й існують інші чинники (менш значущі, однак теж достатньо важливі). Наприклад, тіньова економіка, свобода віросповідання, якість питної води, задоволеність роботою, ментальність тощо не включені в запропоновану модель.

У результаті проведеного аналізу отримано таку факторну модель:

$$F_1 = 0,88 \times \text{HDI} + 0,87 \times \text{IO} + 0,85 \times \text{IAW} + 0,88 \times \text{MYS} + 0,79 \times \text{ICT} + 0,93 \times \text{ABK};$$

$$F_2 = 0,82 \times \text{GDP} + 0,82 \times \text{RC} + 0,7 \times \text{ETI} + 0,75 \times \text{PFC} + 0,8 \times \text{T},$$

де IO – нерівність можливостей, %, IAW – благополуччя з урахуванням нерівності, MYS – середня тривалість навчання дорослого населення, ICT – наявність і використання ІКТ, ABK – доступність знань, RC – Індекс корупції, ETI – Індекс торгівлі, PFC – особиста свобода і свобода вибору, T – толерантність.

Виділено два фактори, які можна трактувати соціальними та економічними компонентами сталого розвитку відповідно. Вони є лінійними комбінаціями аналізованих індикаторів і відображають переважну частку загальної мінливості досліджуваних ознак, тому зберігають основну частину інформації, яку містили початкові дані.

Результати проведеного аналізу свідчать, що на вимірник глобального сталого розвитку (а тому й на рівень стандартів життя) впливають не лише економічні чинники. Якість та безпека життя, чесна та прозора влада, можливість отримання гідної роботи, участь населення у контролі та ухваленні рішень відіграють вагоме значення під час вибору країни для щасливого життя.

Дискримінантний аналіз Індексу людського розвитку. Одним із найавторитетніших рейтингів, за допомогою яких традиційно вимірюють рівень сталого розвитку окремої країни, є Індекс людського розвитку (далі – ІЛР). За величиною цього показника 193 країни світу розділяють на чотири групи: країни з найбільш високим рівнем розвитку (very high), високим (high), середнім (medium) та низьким (low) [8].

Щоб перевірити узгодженість такої класифікації з основними показниками сталого розвитку країн, проведено дискримінантний аналіз ІЛР [17, с. 168] за такими показниками, як щасливі роки життя, екологічний слід, нерівність можливостей, очікувана тривалість життя з урахуванням нерівності, налагоджений добробут з урахуванням нерівності, ВВП на душу населення, середня тривалість навчання дорослого населення, Індекс корупції, Індекс торгівлі, доступність і якість транспортної інфраструктури, наявність і використання ІКТ, доступність знань, охорона здоров'я, особиста свобода і свобода вибору, толерантність, Індекс економічної свободи.

Із класифікаційної матриці можна зробити висновок, що розподіл країн на групи за рівнями

ІЛР є коректним і для ознак, вибраних для аналізу (рис. 4). Лише три країни неправильно класифіковані за виділеними групами: 2 країни у групі «високий» та 1 країна у групі «середній», що складає менше 3% від загальної кількості спостережень. Отже, показники, виділені як значущі під час проведення канонічного аналізу, з високою достовірністю можуть бути використані і для класифікації країн за рівнем ІЛР.

Group	Percent Correct	very high p=,33333	high p=,29730	medium p=,18018	low p=,18919
very high	94,5946	35	2	0	0
high	100,0000	0	34	0	0
medium	100,0000	0	0	20	0
low	95,2381	0	0	1	20
Total	97,3214	35	36	21	20

Рис. 4. Класифікаційна матриця

Для побудови класифікаційних функцій розподілу країн за рівнями ІЛР (найвищий, високий, середній, низький) обчислено коефіцієнти класифікаційних функцій класів (рис. 5).

Variable	Classification Functions; grouping: HDI Rank			
	very high p=,33333	high p=,29730	medium p=,18018	low p=,18919
Inequality-adjusted Life Expectancy	31,54	31,43	30,73	29,04
Corruption	0,61	0,40	0,31	0,27
Access to Basic Knowledge	1,61	1,70	1,63	1,23
Mean years of schooling	11,55	9,92	8,51	7,92
Economic freedom	1,10	1,51	1,62	1,51
Enabling Trade Index	20,69	15,72	17,52	21,29
Personal Freedom and Choice	0,30	0,40	0,55	0,50
ICT	12,42	10,91	7,61	5,85
GDP/capita (\$PPP)	-0,00	0,00	0,00	0,00
Inequality of Outcomes	19,13	18,60	17,94	17,72
Footprint	6,49	5,58	4,81	4,30
Happy Life Years	-39,28	-40,82	-41,51	-39,43
Inequality-adjusted Wellbeing	291,94	301,21	304,37	289,54
Constant	-1620,10	-1578,19	-1505,00	-1360,33

Рис. 5. Коефіцієнти класифікаційних функцій класів

Специфікація дискримінантної моделі має такий вигляд:

$$\text{very high} = -1620,1 + 31,54 \times \text{IALE} + 0,61 \times \text{RC} + 1,61 \times \text{ABK} + 11,55 \times \text{MYS} + 1,1 \times \text{REF} + 20,69 \times \text{ETI} + 0,3 \times \text{PFC} + 12,42 \times \text{ICT} + 19,13 \times \text{IO} + 6,49 \times \text{F} + 39,28 \times \text{HLE} + 291,94 \times \text{IAW},$$

$$\text{high} = -1578,19 + 31,43 \times \text{IALE} + 0,4 \times \text{RC} + 1,7 \times \text{ABK} + 9,92 \times \text{MYS} + 1,51 \times \text{REF} + 15,72 \times \text{ETI} + 0,4 \times \text{PFC} + 10,91 \times \text{ICT} + 18,6 \times \text{IO} + 5,58 \times \text{F} + 40,28 \times \text{HLE} + 301,21 \times \text{IAW},$$

$$\text{medium} = -1505 + 30,78 \times \text{IALE} + 0,31 \times \text{RC} + 1,63 \times \text{ABK} + 8,51 \times \text{MYS} + 1,62 \times \text{REF} + 17,52 \times \text{ETI} + 0,55 \times \text{PFC} + 7,61 \times \text{ICT} + 17,94 \times \text{IO} + 4,81 \times \text{F} + 41,51 \times \text{HLE} + 304,37 \times \text{IAW},$$

$$\text{low} = -1360,33 + 29,04 \times \text{IALE} + 0,27 \times \text{RC} + 1,23 \times \text{ABK} + 7,92 \times \text{MYS} + 1,51 \times \text{REF} + 21,29 \times \text{ETI} + 0,5 \times \text{PFC} + 5,85 \times \text{ICT} + 17,72 \times \text{IO} + 4,3 \times \text{F} + 39,43 \times \text{HLE} + 289,54 \times \text{IAW},$$

де IALE – очікувана тривалість життя з урахуванням нерівності, RC – Індекс корупції, ABK – доступність знань, MYS – середня тривалість навчання дорослого населення, REF – Індекс економічної свободи, ETI – Індекс торгівлі, PFC – особиста свобода і свобода вибору, ICT – наявність і використання ІКТ, IO – нерівність можливостей, F – екологічний слід, HLE – роки щасливого життя, IAW – благополуччя з урахуванням нерівності.

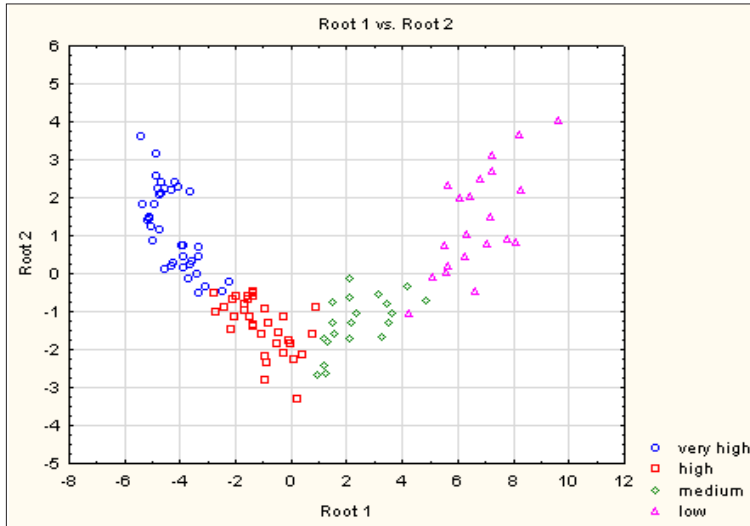


Рис. 6. Діаграма розсіювання канонічних значень

Це система рівнянь, що є лінійними комбінаціями виділених для дослідження ознак, які оптимально розділяють аналізовані групи країн за рівнями значень ІЛР.

Діаграма розсіювання канонічних значень ілюструє внесок кожної дискримінантної функції в розподіл країн за групами ІЛР (рис. 6).

Оцінки дискримінантного аналізу підтвердили висновки, отримані у результаті попередньо

проведених досліджень: рівень сталого розвитку країни пов'язаний із соціальними показниками, зокрема нерівністю можливостей, якістю освіти, розвитком інформаційних технологій, особистою свободою та свободою вибору. Серед економічних показників найбільш вагомим виявився Індекс торгівлі.

Висновки. Проведений модельний аналіз дає змогу зробити висновок, що ІЛР та ВВП на душу населення не можуть однозначно оцінити реальний рівень сталого розвитку окремої країни, зокрема добробут та якість життя населення. ІЛР значно спрощує поняття «людський розвиток» та «людський потенціал». Він охоплює лише агреговану й усереднену оцінку людського прогресу в окремо взятому регіоні. Він не відображає істинного стану нерівності, бідності, безпеки людей у різних країнах світу, розширення прав і свобод, можливостей самореалізації тощо.

Побудовані економетричні моделі дають підстави зробити висновок, що суспільний прогрес значною мірою залежить від досягнення балансу між економічним прогресом, збереженням навколишнього середовища та забезпеченням соціальних свобод та гарантій. Перспективним напрямом подальших досліджень є вивчення питань, пов'язаних із диспаратом оцінювання таких аспектів сталого розвитку, як диспарат валют, диспарат заробітної плати, гендерний диспарат тощо.

Список використаних джерел:

1. Steward W., Kuska S. *Sustainometrics: Measuring Sustainability Design, Planning, and Public Administration for Sustainable Living*. Norcross: Greenway Communications, 2011. 143 p.
2. *Sustainometrics: measuring sustainability* / V. Todorov, D. Marinova, R. Anderssen, R. Braddock, L. Newham (Eds.) / *Sustainometrics: measuring sustainability*. In *Matrices: Methods and Applications: MODSIM 2009 International Congress on Modeling and Simulation*. Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand (MSSANZ). Cairns: QLD, 2009. P. 1223–1229.
3. Andriantiatsaholiniaina L., Kouikoglou V., Phillis Y. Evaluating strategies for sustainable development: Fuzzy logic reasoning and sensitivity analysis. *Ecological Economics*. 2004. Vol. 48. P. 149–172.
4. Bell S., Morse S. *Sustainability Indicators: Measuring the immeasurable*. London: Earthscan, 1999. 228 p.
5. Bossel H. *Indicators for sustainable development: theory, method, applications*. Winnipeg : International Institute for Sustainable Development, 1999. 138 p.
6. Boulanger P., Brechet T. Models for policymaking in sustainable development: The state of the art and perspectives for research. *Ecological Economics*. 2005. Vol. 55. P. 337–350.
7. Todorov V., Marinova D. Modelling sustainability. *Mathematics and Computers in Simulation*. 2010. Vol. 81(7). P. 1397–1408.
8. *Human Development Reports 2016: за даними United Nations Development Programme*. URL: <http://hdr.undp.org/en>.
9. GINI index (World Bank estimate). *Country Ranking 2016*. URL: <http://www.indexmundi.com>.
10. *Index of economic freedom 2016*. URL: Retrieved from <http://www.heritage.org/>.
11. *SPI Methodological-Report 2016*. URL: <http://www.socialprogressimperative.org>.
12. *World bank live*. URL: <http://live.worldbank.org>.
13. Which countries are best at converting economic growth into well-being? // *World Economic Forum 2016*. URL: <https://www.weforum.org>.
14. *Current World Population 2016*. URL: <http://www.worldometers.info>.
15. *The Global Enabling Trade Report 2016*. URL: <http://reports.weforum.org>.
16. Carpenter G. *The Global Risks Report 2017*. URL: <https://www.weforum.org>.
17. Ковальчук О. Математичне моделювання сталого розвитку монографія. Тернопіль: THEU, 2017. 245 с.

Ковальчук О. Я.

Периг В. М.

Тернопольский национальный экономический университет

ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Резюме

Исследованы возможности применения инструментов математического и компьютерного моделирования для комплексного измерения устойчивого развития. Построена факторная модель по значениям основных статистических показателей устойчивого развития стран мира за 2016 г. На основе значимых факторов устойчивого развития разработана спецификация дискриминантной модели для Индекса человеческого развития.

Ключевые слова: устойчивое развитие, факторная модель, дискриминантный анализ, компьютерное моделирование.

Kovalchuk O. Ya.

Perih V. M.

Ternopil National Economic University

ECONOMETRIC MODELS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Summary

Possibilities of application of computer design and mathematical instruments were investigated for the complex measuring of firmness. Factor model is built by means of main components method according to the values of basic statistical indexes of sustainable development of the world countries for 2016. Specification of discriminatory model is worked out on the basis of meaningful factors of sustainable development for Index of human development.

Key words: sustainable development, factor model, discriminatory analysis, computer modelling.