

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 504.052

А.О. Болдак, О.М. Згуровський

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ БЕЗПЕКИ, СУСПІЛЬНОГО РОЗВИТКУ І ГЛОБАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ БАЙЄСІВСЬКИХ МЕРЕЖ ДОВІРИ

Вступ

Глобалізація як процес всесвітньої економічної, політичної і культурної інтеграції та уніфікації має системний характер, тобто охоплює всі сфери життя суспільства. В результаті глобалізації світ стає більш зв'язаним і більш залежним від усіх його суб'єктів, що приводить до збільшення кількості спільних для груп держав проблем. У зв'язку з цим дослідження впливу стану безпеки і суспільного розвитку на процеси глобалізації є актуальною задачею.

Кількісне оцінювання глобалізаційних процесів на основі використання інтегрованих показників, таких, як індекс глобалізації та його економічної, соціальної і політичної складових, проводилось у працях [1, 2]. Але в них не розглядалась залежність цих інтегрованих показників від багатьох визначальних факторів, таких, наприклад, як стан демократизації суспільства, державна нестабільність, чутливість до корупції тощо, які істотно впливають на характер та розвиток процесів глобалізації.

У [3, 4] з використанням методів багатовимірної статистичного аналізу виконано оцінювання залежності інтегрованих показників глобалізації країн світу від групи головних індикаторів суспільного розвитку та безпеки і проведено дослідження впливу кризових явищ на суспільні і політичні процеси в глобальному і регіональному контекстах, але при цьому не враховано експертні оцінки наведених процесів.

Постановка задачі

Мета даної статті полягає в підвищенні об'єктивності оцінки впливу глобалізаційних процесів на стан безпеки та суспільного розвитку країн світу за рахунок розробки та застосування нової методики побудови експертно-статистичних моделей причинно-наслідкових зв'язків та узагальнення результатів їх моделювання.

У статті аналізується вплив стану безпеки і суспільного розвитку країн світу, оцінених за допомогою індикаторів, на процеси глобалізації на якісному рівні з використанням байєсівських мереж довіри (БМД), заснованих на теорії причинності (causality) [5], із врахуванням як лінійних, так і нелінійних залежностей.

Використання БМД, що базуються на графічній моделі ймовірнісних відношень на множині змінних, спільно з апаратом математичної статистики дає можливість виявити причинно-наслідкові зв'язки між різними змінними і, таким чином, полегшити розуміння складних явищ і процесів, пов'язаних із глобалізацією. Крім того, БМД з їх причинно-наслідковою та ймовірнісною семантикою є зручним інструментом для оперування як з експертними знаннями, що мають якісний характер, так і з статистичними, кількісними даними, отриманими інструментальним шляхом (вимірювання, спостереження, обчислення). Це зумовило застосування БМД для вивчення розглянутих у цьому дослідженні залежностей процесів глобалізації від групи визначальних індикаторів безпеки і суспільного розвитку різних країн світу.

Вихідні дані

Як даними, які будуть використані в дослідженні, скористаємося результатами двох джерел. В [1] містяться кількісні значення індексу глобалізації (I_g), визначеного за методикою КОФ в економічному (I_e), соціальному (I_s) та політичному (I_p) вимірах та його складових.

Data on Actual Flows (AFLOW) – дані про фактичні потоки, які входять до економічного виміру індексу глобалізації та складаються з суми експорту та імпорту всіх товарів і послуг, обчислених як частина внутрішнього валового продукту, а також із прямих іноземних інвестицій, які містять акціонерний капітал, реінвестування доходів, інших короткострокових та довгострокових капіталів, суму активів інвестиційного портфеля та інвестиційних зобов'язань.

Data on Restrictions (REST) – обмеження, в які входять приховані бар'єри для імпорту, середня ціна тарифу, податки на міжнародну торгівлю, обмеження операцій за банківськими рахунками.

Data on Personal Contact (PRSCONT) – дані про персональні контакти, які містять обсяги телефонного трафіку, міжнародного туризму

му, кількість іноземного населення та обсяги міжнародного листування.

Data on Information Flows (IFLOW) – дані про інформаційні потоки, які складаються з кількості користувачів Інтернету, розповсюдженості телебачення та обсягів продажу газет.

Data on Cultural Proximity (CULTPROX) – культурна близькість, яка визначається кількістю ресторанів McDonald's, кількістю магазинів Ikea (на душу населення) та обсягами продажу книг.

В [3, 4] наведено дані про індикатори суспільного розвитку і безпеки країн світу, які істотно впливають на плин процесів глобалізації. До них належать: індикатори державної нестабільності, демократизації, миролюбності країн, нерівності, глобальної безпеки сприйняття корупції, потенційної схильності до скоєння терористичних актів, контролю за непоширенням злочинності, а також ВВП на душу населення.

Індикатор державної нестабільності SF (State Fragility Indicator) характеризує рівень вразливості країни до зовнішніх та внутрішніх загроз і розраховується за допомогою 12-ти показників, що відображають рівень безпеки, політичної, економічної та соціальної стабільності країни, легітимність її законодавства, кількість конфліктів, до яких вона причетна та ін. Цей індикатор був виведений у Глобальній доповіді про конфлікти, державне управління та державну вразливість [6].

Індикатор демократизації DI (Democracy Indicator) емпірично розраховується як середній рівень п'яти основних категорій, з яких він складається: виборчий процес та плюралізм, рівень громадянської свободи, функціонування уряду, політична активність та рівень політичної культури. Цей індекс щорічно розраховується Economist Intelligence Unit – дослідницьким підрозділом дуже впливового британського видання "The Economist" для 167 країн світу [7].

Індикатор миролюбності країни GP (Global Peace Indicator) вперше був опублікований у 2008 р. Economist Intelligence Unit для 140 країн світу. Індикатор підраховується з використанням 24 якісних та кількісних показників внутрішніх і зовнішніх факторів – від витрат країни на утримання армії до рівня відносин країни із сусідніми державами. Індикатор сприйняття корупції та рівень потенційної загрози терористичних фактів є одним з показників індексу миролюбності [8].

Індикатор нерівності GINI (Gini Indicator) розрахований для 177 країн і публікується у

Доповіді ООН про людський розвиток (Human Development Report). Головна мета цього індикатора – продемонструвати нерівність в отриманні доходів різними верствами населення [9].

Індикатор глобальної безпеки GS (Indicator of Global Security) щороку оцінюється Українським відділенням Світового центру даних при Інституті прикладного системного аналізу НАН України та Міністерства освіти і науки України для 113 країн світу [11, 12]. Він визначає ступінь вразливості країн до впливу сукупності глобальних загроз. До цих загроз належать: глобальне зниження енергетичної безпеки; порушення балансу між біологічним потенціалом Землі і потребами людства в біосфері та зміна демографічної структури світу; зростаюча нерівність між людьми і країнами на Землі; поширення глобальних хвороб; дитяча смертність; зростання корупції; обмеженість доступу до питної води; глобальне потепління; державна нестабільність (вимірюється індикатором державної нестабільності – State Fragility Indicator); глобальні зміни клімату і природні катастрофи.

Індикатор сприйняття корупції CP (Indicator of Corruption Perception) щорічно визначається міжнародною організацією Transparency International [13] для 180 країн світу. Він змінюється від 0 до 10, де 0 – максимальний рівень корупції, 10 – мінімальний.

Індикатор потенційної схильності до скоєння терористичних актів в країні PTA (Index of Potential Terrorist Acts) опублікований у Доповіді ООН про людський розвиток. Головна мета даного індикатора – продемонструвати ризик потенційного терористичного акту [9].

Індикатор контролю за непоширенням злочинності CC (Crime Control Indicator) визначає відношення кількості всіх скоєних у країні злочинів до кількості ув'язнених осіб [9].

Індикатор – валовий внутрішній продукт на душу населення (GDP) – опубліковано в [10].

Показники SF, PTA, GS, CC, CP визначають стан безпеки країн світу, а показники DI, GP, GINI, GDP – стан суспільного розвитку.

Наведені дані змінюються в різних діапазонах і мають різні фізичні розмірності. Виконаємо їх нормалізацію з використанням співвідношення [4]

$$z_{i,j} = \frac{x_{i,j} - \bar{X}_j}{\sigma(X_j)}, \quad (1)$$

де $\bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{i,j}}{n}$ – середнє значення показника;
 $\sigma(X_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i,j} - \bar{X}_j)^2}{n}}$ – його стандартне відхилення. Нормалізовані в такий спосіб дані мають

нульове середнє і одиничну дисперсію (табл. 1).

Таким чином, в табл. 1 маємо значення показників, які належать до трьох категорій: показники глобалізації та їх складові, показники стану суспільного розвитку та показники, які характеризують стан безпеки життя в країнах світу. Ці значення наведені для 95 країн світу.

Таблиця 1. Дані для індексу глобалізації, його складових та чинників

Країна	Індекс глобалізації та його виміри				Складові глобалізації					Чинники (індикатори), що впливають на процес глобалізації							
	I _r	I _e	I _p	I _c	AFLOW	REST	IFLOW	PRSCONT	CULTPROX	SF	DI	GP	PTA	GS	CC	CP	GINI
Австрія	1,7	1,3	1,3	1,7	1,2	1,2	1,2	1,4	1,7	0,9	1,1	1,2	0,0	1,3	1,1	1,4	1,2
Бельгія	1,7	1,4	1,3	1,6	1,6	0,9	1,4	1,2	1,6	0,9	0,8	1,1	0,0	1,0	0,6	1,2	0,8
Канада	1,4	0,8	1,1	1,6	0,6	0,9	1,3	1,2	1,7	0,9	1,3	1,2	0,0	2,0	1,1	1,7	0,8
Швейцарія	1,6	0,9	1,1	1,8	1,3	0,3	1,4	1,6	1,7	0,7	1,2	1,2	1,1	1,5	0,6	1,8	0,7
Австралія	1,1	0,7	0,8	1,2	0,4	0,9	0,8	0,8	1,5	0,6	1,3	0,7	-0,5	1,7	0,7	1,6	0,5
Болгарія	0,6	1,0	0,6	0,1	1,1	0,7	0,8	-0,3	-0,1	0,9	0,3	0,1	1,1	0,4	-0,1	-0,3	1,2
Бахрейн	0,2	1,3	-2,3	0,4	1,5	0,8	-0,3	1,5	0,0	0,2	-1,5	-0,2	0,0	-0,6	1,1	0,1	-0,9
Чехія	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1	1,2	1,0	0,4	1,6	0,7	0,8	1,1	0,0	0,6	0,9	0,2	1,6
Аргентина	-0,4	-1,0	1,0	-0,4	-0,4	-1,5	0,0	-0,9	-0,1	0,6	0,0	0,1	1,1	0,3	-0,6	-0,8	-1,3
Чилі	0,5	1,1	0,7	-0,3	0,9	1,2	-0,2	-0,5	-0,1	0,6	0,7	0,9	1,1	0,7	1,0	1,0	-1,7
Німеччина	1,1	0,4	1,1	1,3	0,1	0,8	1,0	1,0	1,5	0,9	1,1	1,2	0,0	1,1	0,7	1,3	1,3
Албанія	-0,7	-0,6	-0,5	-0,7	-0,9	-0,2	-0,3	-0,1	-1,4	0,2	-0,3	-0,2	0,0	0,4	-0,2	-0,8	1,0
Бразилія	-0,4	-0,6	1,0	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	-1,4	-0,3	0,2	0,4	-0,5	1,1	-0,1	-1,7	-0,5	-1,9
Коста-Рика	0,0	0,4	-1,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,9	0,8	0,6	1,1	0,9	-0,5	0,1	-1,1
Кіпр	1,0	1,2	0,0	1,0	1,1	1,0	1,4	1,5	0,1	0,4	0,5	0,3	1,1	0,3	0,6	0,2	0,2
Барбадос	-0,6	-0,5	-2,6	0,2	0,1	-0,8	0,9	1,5	-1,1	0,9	-1,0	-0,6	-0,1	-1,1	-0,7	-0,9	-0,2
Китай	-0,3	-0,7	0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,4	-1,5	1,0	-0,8	-1,8	-0,1	1,1	-0,8	0,7	-0,5	-0,8
Колумбія	-0,5	-0,7	0,1	-0,4	-0,3	-0,9	0,2	-1,1	-0,2	-0,8	-0,1	-2,0	-3,0	-0,2	-1,8	-0,4	-2,1
Бурунді	-2,1	-2,3	-1,4	-1,7	-2,7	-1,5	-1,8	-1,7	-1,2	-2,3	-1,0	-1,1	-0,3	-1,2	-0,7	-1,1	-0,3
Болівія	-0,9	-0,6	-0,1	-1,1	-0,5	-0,7	-1,1	-0,6	-1,3	-1,1	-0,3	-0,2	1,1	-1,0	-0,3	-0,8	-2,3
Ботсвана	-1,0	-0,4	-1,3	-0,9	-0,6	-0,1	-1,3	0,2	-1,2	0,1	0,5	0,4	1,1	-0,8	-0,5	0,3	-2,3
Бенін	-1,6	-1,8	-0,3	-1,5	-2,1	-1,3	-1,9	-1,1	-1,2	0,9	-0,2	-0,6	-0,1	-1,7	-0,7	-0,9	0,4
Бангладеш	-1,8	-1,9	-0,2	-1,8	-2,0	-1,6	-2,1	-1,4	-1,5	-1,3	-0,2	-0,4	-1,0	-1,4	-0,8	-1,2	0,7
Кот-д'Івуар	-1,0	-0,9	-0,4	-1,0	-0,3	-1,5	-0,8	-0,4	-1,3	-2,3	-1,6	-1,2	-1,0	-1,6	-0,8	-1,1	-0,5
Камерун	-1,6	-1,8	-0,4	-1,4	-1,6	-1,8	-1,0	-1,6	-1,3	-1,8	-1,7	-0,6	0,0	-1,8	-1,0	-1,0	-0,5
Данія	1,5	1,2	1,1	1,4	1,1	1,1	0,9	1,3	1,6	0,9	1,5	1,5	0,0	1,5	1,0	2,0	1,7
Іспанія	1,3	0,8	1,2	1,2	0,7	0,9	0,8	0,8	1,4	0,7	0,9	0,7	-0,5	0,9	0,8	0,8	0,6
Фінляндія	1,4	1,2	0,8	1,3	0,9	1,2	1,2	0,8	1,5	0,9	1,5	1,3	0,0	1,7	0,6	2,0	1,5
Франція	1,3	0,6	1,3	1,3	0,0	1,1	0,9	1,1	1,5	0,7	0,8	0,6	0,0	1,2	1,1	1,1	0,8
Ірландія	1,3	1,6	0,7	1,0	1,5	1,4	1,1	1,6	0,2	0,9	1,2	1,3	1,1	1,2	0,6	1,2	0,6
Естонія	0,8	1,4	-0,5	0,7	1,4	1,3	1,2	1,0	0,0	0,7	0,6	0,6	1,1	0,4	1,2	0,7	0,5
Велико-британія	0,9	0,6	-0,5	1,4	0,2	1,1	0,9	1,1	1,6	0,6	0,8	0,4	-1,0	0,9	1,2	1,6	0,4
Угорщина	1,3	1,3	0,9	1,1	1,4	1,1	0,7	0,6	1,5	0,9	0,5	0,9	1,1	0,8	0,6	0,2	1,5
Ісландія	0,3	0,8	-1,7	0,6	1,2	0,3	0,5	1,2	0,0	0,9	1,6	1,9	1,1	0,3	0,9	1,9	0,2

Продовження табл. 1

Країна	Індекс глобалізації та його виміри				Складові глобалізації					Чинники (індикатори), що впливають на процес глобалізації							
	I _r	I _e	I _p	I _c	AFLOW	REST	IFLOW	PRSCONT	CULTPROX	SF	DI	GP	PTA	GS	CC	CP	GINI
Італія	1,0	0,4	1,3	1,0	0,2	0,7	0,6	0,6	1,3	0,9	0,6	0,7	0,0	0,9	0,2	0,2	0,4
Греція	0,6	0,4	1,0	0,4	-0,2	1,0	0,5	0,8	-0,1	0,9	0,8	0,2	0,0	0,7	0,6	-0,1	0,6
Хорватія	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4	1,2	0,8	0,0	0,1	0,4	0,1	1,1	0,4	0,6	-0,3	1,2
Ізраїль	0,3	1,0	-1,1	0,3	0,8	1,1	-0,2	0,9	0,0	-0,6	0,4	-2,7	-2,0	0,1	0,5	0,6	0,1
Домініканська Республіка	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,6	0,1	-0,1	-0,2	0,9	-0,2	-0,3	1,1	-0,4	-1,4	-0,7	-1,3
Єгипет	-0,4	-0,7	1,0	-0,6	-0,5	-0,8	-0,5	-0,7	-0,4	-1,1	-1,3	-0,1	-1,0	-0,4	1,1	-0,8	0,6
Ямайка	-0,1	0,6	-0,5	-0,5	0,7	0,4	-0,3	0,5	-1,1	0,4	0,4	-0,7	0,0	0,1	-2,2	-0,6	-0,6
Йорданія	0,3	0,2	0,5	0,2	0,8	-0,4	0,3	0,3	0,0	0,9	-1,3	0,0	-1,0	0,1	0,7	0,0	0,1
Гватемала	-0,5	-0,4	0,2	-0,7	-0,8	0,2	-0,9	-1,3	0,0	-0,9	-0,2	-0,9	0,0	-0,4	-2,5	-0,8	-1,7
Гайана	-0,5	0,0	-2,2	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,1	-0,6	-0,2	-0,5	-0,4	-0,6	-0,7	-0,7	-0,9
Японія	0,1	-0,8	0,8	0,5	-1,9	0,4	0,2	-0,4	1,3	0,9	0,8	1,5	1,1	1,2	1,0	1,2	1,7
Кувейт	0,1	0,2	-1,2	0,5	-0,1	0,5	0,5	1,0	-0,1	0,2	-1,8	0,4	-1,0	0,3	1,2	-0,2	0,2
Алжир	-1,2	-1,3	-0,6	-1,0	-1,4	-1,0	-0,5	-0,8	-1,4	-1,8	-1,7	-1,1	-0,5	-1,0	0,3	-0,7	0,5
Індонезія	-0,6	-0,2	0,5	-1,2	-0,7	0,3	-1,2	-1,7	-0,4	-0,6	-0,1	-0,1	-2,0	-0,6	-0,4	-1,0	0,6
Індія	-1,0	-1,4	1,0	-1,3	-1,5	-1,2	-1,4	-1,7	-0,4	-1,4	0,6	-1,0	-2,0	-0,9	-0,4	-0,5	0,3
Кенія	-1,2	-1,5	0,4	-1,3	-1,7	-1,1	-1,3	-1,1	-1,3	-1,3	-0,8	-1,2	0,0	-1,7	-1,5	-1,1	-0,3
Нідерланди	1,7	1,5	1,2	1,5	1,5	1,2	1,0	1,3	1,6	0,9	1,6	0,8	0,0	1,4	0,7	1,8	1,0
Норвегія	1,1	0,5	0,8	1,3	0,6	0,3	0,8	1,1	1,5	0,6	1,5	1,5	1,1	1,9	1,0	1,7	1,6
Португалія	1,4	1,0	1,1	1,3	0,7	1,2	1,1	1,0	1,4	0,9	0,8	1,3	0,0	1,0	1,1	0,7	0,2
Люксембург	1,3	1,5	0,1	1,1	1,7	1,0	1,4	1,8	0,1	0,9	1,3	1,2	0,0	1,3	0,8	1,6	0,2
Малайзія	0,5	0,6	0,4	0,2	1,2	-0,2	0,1	0,5	0,1	0,2	-0,3	0,6	0,0	0,1	0,3	0,1	-1,1
Литва	0,5	0,8	-0,2	0,5	0,7	0,8	1,2	0,4	-0,1	0,7	0,4	0,6	0,0	0,7	0,1	0,0	0,4
Латвія	0,3	0,9	-1,5	0,6	0,7	1,1	1,0	0,7	-0,1	0,9	0,4	0,6	0,0	0,7	0,2	0,0	0,2
Мальта	0,6	1,5	-1,8	0,9	1,5	1,2	1,1	1,1	0,3	0,9	0,9	0,2	0,5	0,3	0,5	0,3	0,2
Нова Зеландія	0,8	0,9	0,1	0,9	0,4	1,2	1,1	1,1	0,2	0,7	1,2	1,5	0,0	1,6	0,9	2,0	0,4
Мексика	-0,4	-0,4	-0,5	-0,2	-0,5	-0,3	0,0	-0,4	-0,1	0,2	0,1	-0,6	-0,5	0,1	-1,3	-0,5	-0,7
Маврикій	0,1	0,3	-1,1	0,4	0,2	0,4	0,9	0,5	-0,1	-1,4	0,8	-1,2	-1,0	-0,6	-0,8	-0,9	-0,9
Нігерія	-0,7	0,0	0,8	-1,6	0,2	-0,5	-1,7	-1,7	-1,3	-2,3	-1,5	-1,9	-1,0	-2,1	-2,1	-1,1	-0,4
Польща	1,0	0,5	1,1	0,9	0,4	0,6	0,8	0,2	1,3	0,9	0,4	0,7	1,1	0,6	1,0	-0,2	0,6
Марокко	-0,4	-1,0	0,8	-0,4	-0,4	-1,4	-0,1	-0,7	-0,2	-0,4	-1,3	0,0	-0,5	-0,5	0,4	-0,5	0,0
Нікарагуа	-0,7	-0,2	-1,5	-0,4	-0,4	0,0	-0,7	-0,5	0,0	0,9	-0,4	0,1	1,1	-0,7	-0,2	-0,9	-0,4
Панама	0,1	0,8	-1,3	0,1	1,3	0,0	0,2	-0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	1,1	0,0	0,4	-0,7	-1,8
Перу	-0,2	0,1	0,4	-0,7	-0,2	0,3	-0,7	-0,9	-0,2	-0,9	-0,2	-0,2	0,0	-0,5	-0,6	-0,5	-1,4
Шрі-Ланка	-0,9	-1,2	-0,2	-0,7	-1,2	-1,1	-1,3	-0,5	-0,4	-1,1	0,0	-1,6	-3,0	-0,3	-0,2	-0,7	0,0
Оман	-0,4	0,4	-2,4	-0,1	0,1	0,6	-0,5	0,5	-0,2	0,2	-1,9	0,8	0,6	-0,6	1,0	0,0	-0,9
Пакистан	-0,9	-1,3	0,7	-1,1	-1,2	-1,2	-1,5	-1,2	-0,5	-1,6	-1,3	-1,8	-2,0	-0,9	-0,8	-1,0	1,0
Філіппіни	-0,5	-0,5	0,4	-0,8	-0,2	-0,8	-1,2	-0,9	-0,2	0,9	0,0	-1,1	-2,0	-0,6	-0,6	-1,0	-0,5
Мадагаскар	-1,8	-1,6	-0,8	-1,7	-1,4	-1,5	-1,5	-1,9	-1,3	-1,3	-0,4	0,4	1,1	-1,2	-0,2	-0,7	-0,9
Малаві	-1,5	-1,4	-1,0	-1,4	-1,5	-0,9	-1,6	-1,1	-1,1	-1,4	-0,8	-0,2	1,1	-1,1	-0,3	-0,9	0,1
Малі	-1,4	-0,9	-0,2	-1,8	-0,5	-1,2	-2,0	-1,5	-1,4	-1,4	-0,3	-0,7	-1,0	-1,1	-0,8	-0,9	0,0
Словаччина	1,2	1,1	0,4	1,2	0,8	1,3	1,3	0,6	1,4	0,7	0,4	0,9	1,1	0,7	0,4	0,1	1,6
Словенія	0,8	0,9	0,1	0,8	0,6	1,0	1,2	0,9	0,1	0,9	0,7	1,1	1,1	1,0	1,0	1,9	1,3
Румунія	0,3	0,4	0,9	-0,1	0,0	0,8	0,3	-0,3	-0,2	0,2	0,5	0,8	1,1	-0,3	0,8	-0,4	1,0

Закінчення табл. 1

Країна	Індекс глобалізації та його виміри				Складові глобалізації					Чинники (індикатори), що впливають на процес глобалізації							
	I _r	I _e	I _p	I _c	AFLOW	REST	IFLOW	PRSCONT	CULTPROX	SF	DI	GP	PTA	GS	CC	CP	GINI
Росія	0,1	-0,6	0,4	0,5	0,2	-1,4	0,6	-0,4	1,1	-0,3	-0,8	-2,0	0,0	-0,5	0,1	-1,0	0,0
Сполучені Штати	0,8	0,1	1,1	1,0	-0,9	1,0	0,5	0,6	1,5	0,6	0,8	-0,7	-1,5	0,5	2,2	1,0	-0,1
Швеція	1,5	1,3	1,2	1,3	1,1	1,2	0,7	1,2	1,6	0,9	1,7	1,2	1,1	1,9	0,6	1,9	1,7
Парагвай	-0,6	-0,7	-0,1	-0,6	-0,9	-0,4	-0,8	-0,8	-0,2	-0,4	-0,2	-0,1	1,1	-0,6	-1,1	-1,0	-2,1
Туреччина	-0,1	-0,3	1,0	-0,5	-0,7	0,2	-0,4	-0,5	-0,3	-0,6	-0,4	-1,1	0,0	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4
Україна	0,1	-0,2	0,5	0,1	0,0	-0,5	0,6	0,1	-0,3	0,1	0,2	-0,4	1,1	-0,2	0,0	-0,9	1,3
Ель-Сальвадор	0,0	0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,5	1,1	-0,2	-2,2	-0,3	-1,4
Тринідад і Тобаго	-0,5	0,5	-2,0	-0,5	0,7	0,3	-0,3	0,3	-1,2	0,2	0,3	-0,7	0,0	-0,8	-1,9	-0,6	0,1
Уругвай	-0,1	-0,1	0,4	-0,2	-0,2	0,0	-0,4	-0,1	-0,2	0,7	0,7	0,9	1,1	1,0	0,4	0,8	-0,6
Сенегал	-1,1	-1,7	0,6	-1,0	-1,6	-1,6	-0,7	-0,7	-1,3	-0,9	-0,6	-0,1	0,0	-1,4	-0,8	-0,5	-0,2
Таїланд	-0,2	0,1	0,1	-0,4	0,6	-0,5	-0,1	-0,8	-0,2	0,1	-0,5	-1,2	-2,0	0,1	-0,7	-0,6	-0,2
Туніс	-0,3	-0,3	0,6	-0,6	0,4	-1,0	0,2	-0,3	-1,3	0,1	-1,8	0,4	-1,0	0,1	1,0	-0,2	0,0
Танзанія	-1,9	-1,6	-1,5	-1,7	-2,1	-0,9	-1,8	-1,6	-1,3	-1,3	-0,7	0,1	0,0	-1,6	-0,6	-0,7	0,6
Сирія	-1,3	-1,2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,6	-0,3	-0,2	-1,4	0,9	-2,1	-0,2	0,0	-1,1	0,5	-1,0	-0,2
Чад	-1,7	-1,4	-1,1	-1,7	-0,6	-2,1	-1,8	-1,3	-1,5	-2,5	-2,5	-2,6	-1,0	-1,1	-1,7	-1,3	-0,2
Уганда	-1,4	-1,2	-0,5	-1,6	-1,3	-1,0	-1,8	-1,3	-1,3	-1,9	-0,7	-1,1	-1,0	-1,1	-0,7	-0,8	-0,7
Венесуела	-0,9	-1,2	-0,8	-0,4	-0,9	-1,3	-0,2	-0,8	-0,1	-0,4	-0,6	-1,4	-1,0	-1,0	-2,0	-1,2	-0,9
Зімбабве	-1,3	-1,4	-0,5	-1,1	0,0	-2,5	-1,1	-0,7	-1,3	-1,9	-2,0	-1,4	0,0	-1,8	-1,0	-1,1	-1,2

Методика експертно-статистичного моделювання причинно-наслідкових зв'язків

БМД являє собою спрямований ациклічний граф, кожна вершина якого асоціюється з дискретною випадковою величиною, яка може набувати значень $X_i, i = \overline{1, n}$, а дуги визначають причинно-наслідкові зв'язки між випадковими величинами. З вершинами цього графа пов'язані таблиці умовних ймовірностей, розрахованих за формулою Байеса

$$P(b | a) = \frac{P(a | b)P(b)}{P(a)}, \quad (2)$$

де a, b – випадкові події; $P(a), P(b)$ – ймовірності настання подій a, b ; $P(b | a), P(a | b)$ – умовні ймовірності цих подій.

Скориставшись термінологією гіпотез і свідочств, позначимо H подію, яка полягає в тому, що дана гіпотеза вірна, а E – подію, яка показує, що існує певний доказ (свідочство),

який може підтвердити правильність вказаної гіпотези. Тоді (2) можна переписати у вигляді

$$P(H | E) = \frac{P(E | H)P(H)}{P(E | H)P(H) + P(E | \bar{H})P(\bar{H})}. \quad (3)$$

Співвідношення (3) встановлює зв'язок гіпотези із свідочством і, в той же час, воно встановлює зв'язок спостережуваного свідочства з поки що не підтвердженою гіпотезою. Ця інтерпретація передбачає також визначення апріорної ймовірності гіпотези ще до спостереження або прояву деякого факту.

Введення в БМД нових свідочств виду $E_i^j : X_i = x_i^j, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_j}$, призводить до присвоєння кожному висловлюванню виду $H_i^j : X_i = x_i^j, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_j}$, апостеріорної ймовірності (3), яка визначає ступінь довіри до цього висловлювання.

Для синтезу БМД на основі наведених даних про виміри, складові та чинники глобалізації потрібно вирішити два завдання.

Перше з них пов'язане з виділенням значущих змінних та визначенням причинно-на-

слідкових відносин на їх множині і, як правило, вирішується із залученням експертів.

Друге завдання полягає у формуванні таблиць умовних ймовірностей, які асоціюються з вершинами графа БМД. Це завдання може вирішуватися на основі обчислення умовних ймовірностей за наявними експериментальними даними.

Слід зауважити, що якщо експериментальні дані виражені в інтервальних шкалах [5], як це є в нашому випадку, то необхідно провести їх дискретизацію, наприклад, з використанням кластеризації методом k -середніх [14]. На цьому етапі, по суті, і відбувається перехід від кількісних оцінок до якісних.

Якщо БМД побудована, то, задавши порогове значення довіри, можна визначити множину підтверджених гіпотез для різних наборів свідочств. Узагальнюючи ці дані, можна отримати якісну характеристику залежностей між вимірами, складовими та чинниками (індикаторами) глобалізації.

Особливість розглянутої моделі полягає в тому, що введення в неї неістотних змінних та причинно-наслідкових зв'язків призводить до значного зростання розмірності самої моделі. Отже, необхідно скоротити кількість вершин і дуг БМД, залишивши тільки істотні змінні і зв'язки між ними. Одним із можливих шляхів подолання зазначеної проблеми "розмірності" є застосування статистичного аналізу залежностей із використанням методів оцінки кореляцій [15] або розрахунку ентропії [16]. Зокрема, кореляційний аналіз дає змогу отримати оцінку лінійної залежності між змінними та визначити параметри лінійної моделі. Розрахунок умовної ентропії, в свою чергу, може використовуватися для індикації нелінійних залежностей, але при цьому він не дає ніякої інформації про вид такої залежності.

Синтез топології БМД

Загальні зауваження. Починаючи побудову БМД для процесів глобалізації, з'ясуємо, які вихідні дані є доступними для аналізу на цій стадії аналізу.

Нам відомі кількісні оцінки, зведені в табл. 1, які можна використати для обчислення матриць умовних ймовірностей. Це забезпечить успішний розв'язок задачі налаштування моделі БМД.

Також відомі деякі факти, пов'язані з причинно-наслідковими залежностями між змін-

ними, що аналізуються. Наприклад, відомо, що індекс глобалізації має економічну, соціальну та політичну складові, для яких, в свою чергу, також відомі такі складові, як AFLOW, REST, PRSCONT, IFLOW, CULTPROX. Також відомо, що показники CP та PTA є складовими GP. Така інформація може використовуватися під час визначення топології БМД, але деякі відомі залежності можуть не підтверджуватися статистично або, навпаки, можуть бути виявлені нові залежності.

Таким чином, при синтезі топології БМД будемо спиратися на принцип, який полягає в тому, що в моделі відображаються відомі залежності та ті, що підтверджені статистично. Відносно останніх також буде необхідно виявити напрямок причинно-наслідкових відносин.

Слід зазначити, що структура БМД має відповідати меті дослідження, тому будемо розглядати три моделі: модель 1, яка складається з показників глобалізації та їх складових; модель 2, що містить показники стану суспільного розвитку; модель 3, яка складається з показників стану безпеки.

Для аналізу статистичного зв'язку між змінними пропонується використати їх ентропійні оцінки, які можна отримати в результаті аналізу даних табл. 1.

Ентропійні оцінки змінних. Нехай інформаційна ентропія дискретної випадкової величини $X_i, i = \overline{1, n}$ (X_i – один з показників із табл. 1), яка може набувати значень $x_i^j, j = \overline{1, m_i}$, розраховується за формулою

$$H(X_i) = \sum_{j=1}^{m_i} P(X_i = x_i^j) \log_2 P(X_i = x_i^j) \quad (4)$$

і є усередненою кількісною оцінкою ступеня невизначеності (несподіванки) настання подій, пов'язаних з тим, що змінна X_i набуває значення x_i^j . Зняття цієї невизначеності призводить до отримання інформації, тобто власна інформація змінної [17] визначається як

$$I(X_i) = H(X_i). \quad (5)$$

Нехай також відома верхня оцінка власної інформації [18]: $I(X_i) \leq I_{\max} = \log_2 m_i, i = \overline{1, n}$.

Тоді, використовуючи співвідношення (4) і (5), можна визначити питому власну інформативність змінної:

$$I_s(X_i) = \frac{I(X_i)}{\log_2 m_i} \tag{6}$$

Для кількісної характеристики взаємного впливу двох змінних скористаємося поняттям взаємної інформації [17]:

$$I(X_i; X_k) = H(X_i) - H(X_i | X_k), \tag{7}$$

де $H(X_i | X_k) = H(X_i X_k) - H(X_k)$ – умовна ентропія, що обчислюється на основі формул умовних ймовірностей і співвідношення (4).

Згідно з [17] взаємною інформацією є статистична функція двох випадкових величин, яка визначає кількість інформації, що міститься в одній випадковій величині відносно іншої. Для взаємної інформації виконується властивість симетричності: $I(X_i; X_k) = I(X_k; X_i)$; взаємна інформація незалежних змінних дорівнює нулю: $I(X_i; X_k) = H(X_i) - H(X_i | X_k) = H(X_i) - H(X_i) = 0$; взаємна інформація $I(X_i; X_i)$ дорівнює власній інформації змінної:

$$\begin{aligned} I(X_i; X_i) &= H(X_i) - H(X_i | X_i) = \\ &= H(X_i) - 0 = H(X_i) = I(X_i). \end{aligned}$$

Також відома верхня межа взаємної інформації:

$$I(X_i; X_j) \leq \min(H(X_i), H(X_j)). \tag{8}$$

Використовуючи формулу для взаємної інформації (7) і для її верхньої межі (8), можна визначити питому взаємну інформативність двох змінних:

$$\begin{aligned} I_s(X_i; X_k) &= \\ &= \frac{H(X_i) - H(X_i | X_k)}{\min(H(X_i), H(X_j))}. \tag{9} \end{aligned}$$

Зрозуміло, що $I_s(X_i; X_i) = 1$, а для незалежних змінних – $I_s(X_i; X_k) = 0$.

Моделювання причинно-наслідкових зв'язків. На основі даних табл. 1 з використанням (9) були розраховані значення питої взаємної інформативності для всіх пар змінних. Ці значення можна використовувати для визначення причинно-

наслідкових залежностей як між показниками в одній моделі, так і між показниками, які відносяться до різних моделей.

Розглянемо значення питої взаємної інформативності між показниками моделі 1 (табл. 2).

Задамо порогове значення $I_{st}(X_i; X_k) \geq 0,3$ та виділимо істотні залежності між змінними, залишаючи лише ті, що відповідають відомим причинно-наслідковим залежностям, та ті, що пов'язують складові AFLOW, REST, IFLOW, PRSCONT, CULTPROX між собою та із складовими Іе, Іс, Іп індексу Іг (у табл. 2 відповідні дані виділені напівжирним шрифтом).

Бачимо, що спостерігається залежність показників у межах складових соціальної глобалізації (показники PRSCONT і CULTPROX пов'язані з IFLOW), а також є причинно-наслідковий зв'язок між показниками економічної та соціальної глобалізації (показник PRSCONT пов'язаний із REST).

Відповідна до табл. 2 БМД моделі 1 зображена на рис. 1, а.

Проведемо аналогічну процедуру синтезу БМД для моделей 2 і 3 (розраховані значення питої взаємної інформативності зведені в табл. 3 і 4, а відповідні БМД зображені на рис. 1, б, в).

Як бачимо з табл. 3, показники, які визначають стан суспільного розвитку, мають менший статистичний зв'язок між собою, тому візьмемо порогове значення $I_{st}(X_i; X_k) \geq 0,25$. У цьому випадку показник GINI не має статистичних зв'язків, тому для нього виберемо найбільше значення, яке відповідає зв'язку показників GINI і GDP.

Таблиця 2. Розраховані значення питої взаємної інформативності для моделі 1

Змінні	Іг	Іе	Іп	Іс	AFLOW	REST	IFLOW	PRSCONT	CULTPROX
Іг	1,00	0,58	0,17	0,60	0,39	0,43	0,47	0,37	0,44
Іе	0,58	1,00	0,07	0,45	0,51	0,48	0,40	0,43	0,26
Іп	0,17	0,07	1,00	0,11	0,05	0,06	0,07	0,05	0,18
Іс	0,60	0,45	0,11	1,00	0,31	0,35	0,59	0,48	0,45
AFLOW	0,39	0,51	0,05	0,31	1,00	0,24	0,29	0,27	0,21
REST	0,43	0,48	0,06	0,35	0,24	1,00	0,27	0,34	0,25
IFLOW	0,47	0,40	0,07	0,59	0,29	0,27	1,00	0,43	0,31
PRSCONT	0,37	0,43	0,05	0,48	0,27	0,34	0,43	1,00	0,21
CULTPROX	0,44	0,26	0,18	0,45	0,21	0,25	0,31	0,21	1,00

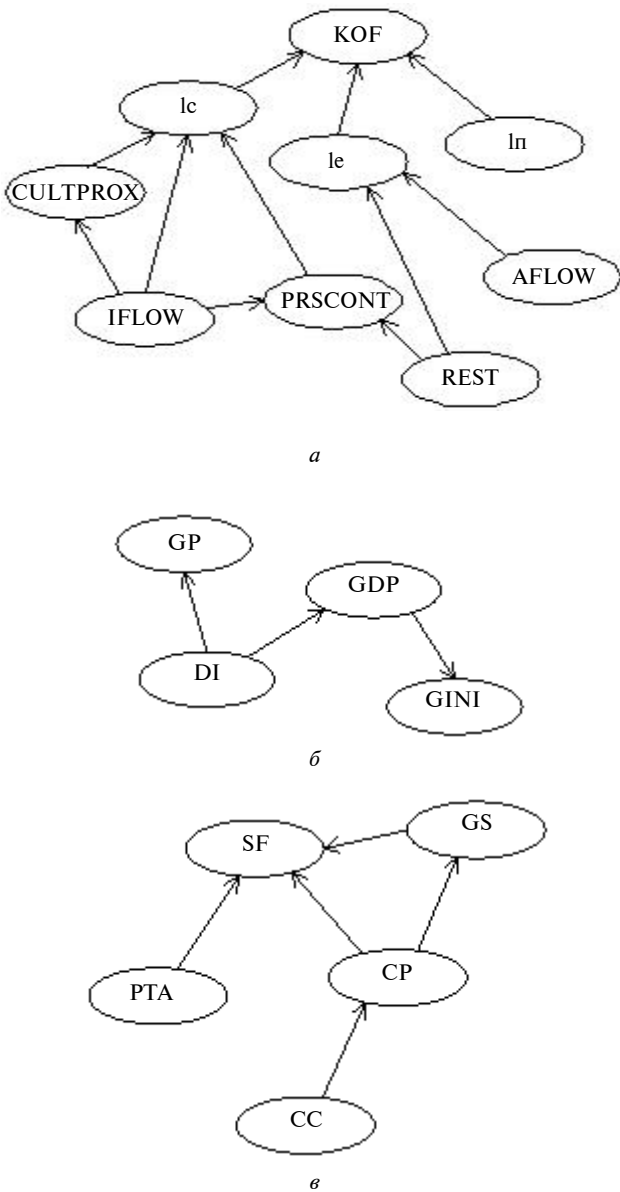


Рис. 1. Байєсівські мережі довіри для аналізу причинно-наслідкових зв'язків: а – БМД для моделі 1; б – БМД для моделі 2; в – БМД для моделі 3

В результаті аналізу моделі 2 можна зробити висновок про те, що стан демократизації суспільства впливає як на рівень миролюбності нації, так і на значення ВВП, який в свою чергу впливає на рівність у суспільстві.

Розглянувши значення питомої взаємної інформативності для показників, які входять у модель 3, приходимо до висновку щодо отримання порогового значення на рівні 0,25. Також визначимо для показника РТА зв'язок, який відповідає його найбільшому значенню питомої взаємної інформативності (РТА, SF).

Таблиця 3. Розраховані значення питомої взаємної інформативності для моделі 2

Змінні	DI	GP	GINI	GDP
DI	1,00	0,25	0,11	0,25
GP	0,25	1,00	0,11	0,22
GINI	0,11	0,11	1,00	0,19
GDP	0,25	0,22	0,19	1,00

Таблиця 4. Розраховані значення питомої взаємної інформативності для моделі 3

Змінні	SF	PTA	GS	CC	CP
SF	1,00	0,13	0,33	0,13	0,26
PTA	0,13	1,00	0,08	0,05	0,07
GS	0,33	0,08	1,00	0,16	0,45
CC	0,13	0,05	0,16	1,00	0,25
CP	0,26	0,07	0,45	0,25	1,00

Таким чином, можемо констатувати, що чутливість до корупції є важливим фактором у моделі 3, бо впливає як на стан глобальної безпеки, так і на стан державної нестабільності. Також значимо, що стан контролю за непоширенням злочинності впливає на чутливість до корупції.

Розглянемо зв'язок між показниками моделі 2 і моделі 3. Для цього розрахуємо значення питомої взаємної інформативності для відповідних пар показників (табл. 5) і визначимо порогове значення: $I_{st}(X_i; X_k) \geq 0,25$.

Як бачимо з таблиці, для показників GINI і РТА статистичні зв'язки такого рівня відсутні, тому, як і в попередніх випадках, для цих показників виберемо зв'язки з найбільшими статистичними значеннями. БМД, яка відповідає табл. 5, зображена на рис. 2.

Стосовно причинно-наслідкових зв'язків між показниками моделей 2 і 3 можна зауважити, що показники глобальної безпеки та чутливості до корупції впливають найбільше на по-

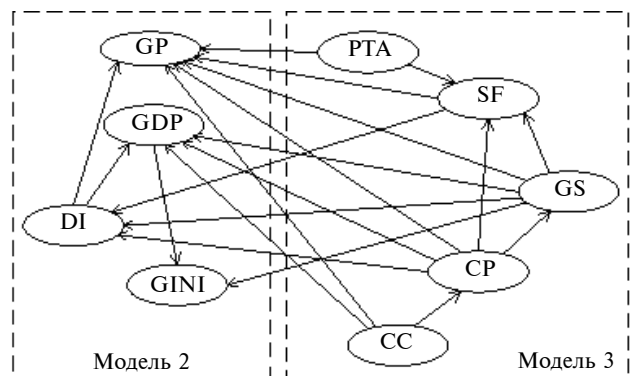


Рис. 2. Байєсівські мережі довіри для аналізу причинно-наслідкових зв'язків між показниками моделей 2 і 3

Таблиця 5. Значення питомої взаємної інформативності для показників моделі 2 і 3

Змінні	DI	GP	GINI	GDP
SF	0,25	0,34	0,08	0,17
PTA	0,11	0,15	0,09	0,02
GS	0,28	0,34	0,15	0,34
CC	0,15	0,25	0,14	0,27
CP	0,32	0,33	0,10	0,55

Таблиця 6. Значення питомої взаємної інформативності для показників моделей 1, 2 і 3

Змінні	DI	GP	GINI	GDP	SF	PTA	GS	CC	CP
AFLOW	0,21	0,16	0,07	0,13	0,23	0,03	0,28	0,08	0,21
REST	0,30	0,20	0,10	0,35	0,20	0,08	0,35	0,15	0,30
IFLOW	0,25	0,21	0,14	0,29	0,32	0,10	0,33	0,21	0,25
PRSCONT	0,25	0,23	0,12	0,46	0,32	0,07	0,31	0,20	0,41
CULTPROX	0,18	0,18	0,16	0,29	0,22	0,05	0,46	0,17	0,26

казники, які визначають стан суспільного розвитку. Важливим є також те, що найбільший вплив мають чутливість до корупції та ВВП.

Останнім кроком побудови моделі для аналізу причинно-наслідкових залежностей між показниками, складовими та чинниками глобалізаційних процесів є об'єднання всіх трьох моделей. Для цього розглянемо значення питомої взаємної інформативності, зведені в табл. 6.

Для порогового значення $I_{st}(X_i; X_k) \geq 0,25$ маємо причинно-наслідкові зв'язки між показниками моделей 1 і 2, з одного боку, та складовими глобалізації, з іншого. Повна БМД для аналізу причинно-наслідкових зв'язків між індикаторами, складовими та чинниками глобалізаційних процесів зображена на рис. 3.

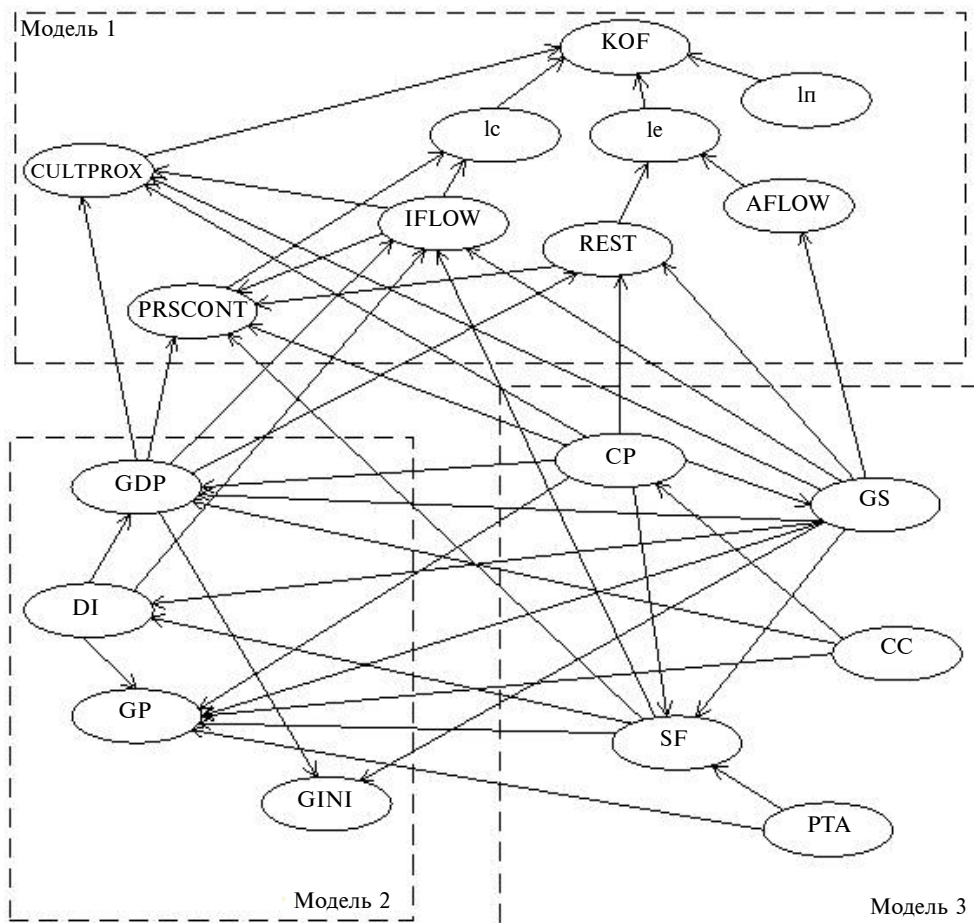


Рис. 3. Байєсівські мережі довіри для аналізу причинно-наслідкових зв'язків між індикаторами, складовими та чинниками глобалізаційних процесів

Аналіз табл. 6 дає можливість виявити той факт, що на складові економічної глобалізації впливають деякі фактори, які визначаються станом суспільного розвитку. Зокрема, рівень демократизації, як і ВВП, впливає на рівень економічних обмежень. Щодо показників стану безпеки, то рівень державної нестабільності має вплив на складові соціальної глобалізації; рівень вразливості до корупції – на складові економічної і соціальної глобалізації; рівень глобальної безпеки найбільше впливає на всі складові глобалізації. Для таких показників, як GP, GINI, PTA, CC безпосереднього впливу на складові глобалізації не виявлено.

Моделювання причинно-наслідкових зв'язків між вимірами, складовими та індикаторами глобалізації

Кожна змінна з табл. 1 відповідно до власного діапазону значень була розбита на три дискретних рівні: низький (Н), середній (С) та високий (В).

Для побудови БМД та перевірки наведених вище попередніх результатів у потоковому режимі використовувались пакет програм GeNIe 2.0 та бібліотека SMILE [19].

Особливість моделі БМД полягає в тому, що може бути обчислений ступінь довіри як для прямої гіпотези, коли за відомими фактами-причинами встановлюється їх наслідок, так і для зворотних гіпотез, коли за відомими фактами-наслідками встановлюються їх найбільш вірогідні причини. У цьому дослідженні перевіряються гіпотези обох типів.

Результати моделювання причинно-наслідкових зв'язків між показниками стану безпеки та показниками стану суспільного розвитку

Свідцтвами в прямих гіпотезах вибрані значення показників стану безпеки, як це видно з табл. 7. У таблицях, які містять результати моделювання, використовуються такі позначення: літерами “Н”, “С”, “В” позначений діапазон значень показника, символ “*” відображає повний діапазон значень. У таблицю включено гіпотези, для яких ступінь довіри становить величину не менше 0,85, а сама гіпотеза підтверджується не менше, ніж для 10 % країн.

Як бачимо з табл. 7, найбільший вплив стану безпеки спостерігається на показники миролюбності та ВВП, високий рівень державної стабільності визначає високий рівень миролюбності, показник вразливості до корупції є найбільш впливовим, особливо на значення ВВП.

В табл. 8 зібрані обернені гіпотези, які підтвердилися більше ніж для 10 % країн. Як бачимо з цієї таблиці, низький рівень державної нестабільності негативно впливає на рівень демократизації, миролюбності та ВВП.

Також можна спостерігати те, що глобальна безпека фактично визначає стан демократизації суспільства та миролюбності, а високий рівень значень цього показника є умовою високого рівня ВВП і рівності в суспільстві. Як і в попередній таблиці, підтверджується вплив рівня чутливості до корупції на стан суспільного розвитку.

Таблиця 7. Підтвержені прямі гіпотези для показників стану безпеки та суспільного розвитку

Свідцтва					Підтверджена гіпотеза	Країни-представники
SF	PTA	GS	CC	CP		
*	С	*	С	С	GP = С	Албанія, Італія, Греція, Малайзія, Литва, Латвія, Мальта, Перу, Танзанія
В	СВ	СВ	СВ	В	GP = В	Австрія, Бельгія, Канада, Німеччина, Данія, Фінляндія, Ірландія, Ісландія, Японія, Нідерланди, Люксембург, Словенія, Швеція
В	С	В	СВ	СВ	GP = В	Австрія, Бельгія, Канада, Німеччина, Данія, Фінляндія, Нідерланди, Португалія, Люксембург
НВ	*	Н	НС	Н	GDP = Н	Бурунді, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Нігерія, Пакистан, Малаві, Малі, Сирія, Чад, Уганда, Зімбабве
СВ	*	СВ	СВ	В	GDP = В	Австрія, Бельгія, Канада, Швейцарія, Австралія, Німеччина, Данія, Іспанія, Фінляндія, Франція, Ірландія, Великобританія, Ісландія, Японія, Нідерланди, Норвегія, Люксембург, Нова Зеландія, Словенія, Сполучені Штати, Швеція

Таблиця 8. Підтверджені обернені гіпотези для показників стану безпеки та суспільного розвитку

Свідоцтва				Підтверджена гіпотеза	Країни-представники
DI	GP	GINI	GDP		
HC	H	*	H	SF = H	Бурунді, Кот-д'Івуар, Індія, Кенія, Нігерія, Пакистан, Малі, Чад, Уганда, Зімбабве
H	H	*	HC	SF = H	Бурунді, Кот-д'Івуар, Алжир, Кенія, Нігерія, Пакистан, Чад, Уганда, Зімбабве
H	HC	*	H	SF = H	Бурунді, Кот-д'Івуар, Камерун, Єгипет, Кенія, Нігерія, Пакистан, Малаві, Сенегал, Танзанія, Чад, Уганда, Зімбабве
H	H	*	HC	GS = H	Бурунді, Кот-д'Івуар, Алжир, Кенія, Нігерія, Пакистан, Чад, Уганда, Зімбабве
B	CB	B	B	GS = B	Австрія, Бельгія, Канада, Швейцарія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Франція, Ірландія, Японія, Нідерланди, Норвегія, Швеція
B	B	CB	CB	GS = B	Австрія, Бельгія, Канада, Швейцарія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Ірландія, Японія, Нідерланди, Норвегія, Португалія, Люксембург, Нова Зеландія, Швеція
H	H	*	HC	CP = H	Бурунді, Кот-д'Івуар, Кенія, Нігерія, Пакистан, Росія, Чад, Уганда, Зімбабве
*	C	*	C	CP = C	Болгарія, Бахрейн, Аргентина, Албанія, Бразилія, Коста-Рика, Кіпр, Китай, Ботсвана, Естонія, Греція, Хорватія, Домініканська Республіка, Йорданія, Малайзія, Литва, Латвія, Мальта, Мексика, Польща, Марокко, Панама, Перу, Ель-Сальвадор, Туніс
CB	*	CB	B	CP = C	Австрія, Бельгія, Канада, Швейцарія, Австралія, Німеччина, Данія, Іспанія, Фінляндія, Франція, Ірландія, Великобританія, Ісландія, Японія, Нідерланди, Норвегія, Люксембург, Нова Зеландія, Словенія, Сполучені Штати, Швеція

Результати моделювання причинно-наслідкових зв'язків між показниками стану суспільного розвитку та показниками глобалізації

Результати моделювання прямих гіпотез зведені в табл. 9, з якої видно, що всі показники, що характеризують стан суспільного розвитку, мають вплив на значення показника соціальної глобалізації. Також можна зауважити, що поєднання низьких значень показників рівня демократизації та миролюбності відповідає низькому значенню показника економічних обмежень, так само, як поєднання низьких значень показників рівня демократизації та ВВП відповідає низькому значенню показника, який характеризує інформаційні потоки.

У табл. 10 зведені підтверджені обернені гіпотези про причинно-наслідковий зв'язок показників стану суспільного розвитку та показників глобалізації.

Аналіз даних табл. 10 показує, що найбільш вірогідною причиною поєднання високих значень показників, які характеризують ін-

тенсивність персональних контактів та культурної близькості, є високий рівень демократизації суспільства, а низький рівень ВВП визначає низькі значення всіх складових, за винятком показника, який характеризує економічні потоки.

Середній і високий рівні ВВП є визначальними для рівня таких складових соціальної глобалізації, як інтенсивність персональних контактів та культурна близькість.

Результати моделювання причинно-наслідкових зв'язків між показниками стану безпеки та показниками глобалізації

Результати моделювання прямих гіпотез причинно-наслідкового зв'язку між показниками стану безпеки та показниками глобалізації зведені в табл. 11. Як бачимо, показники безпеки впливають на значення складових соціальної глобалізації.

Аналіз табл. 12, в якій зведені результати моделювання обернених гіпотез, показує, що найбільш вірогідною причиною низьких зна-

Таблиця 9. Підтверджені прямі гіпотези для показників стану суспільного розвитку та показників глобалізації

Свідоцтва				Підтверджена гіпотеза	Країни-представники
DI	GP	GINI	GDP		
H	HC	*	H	lc = H	Бурунді, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Нігерія, Пакистан, Малаві, Сенегал, Танзанія, Сирія, Чад, Уганда, Зімбабве
HC	H	*	H	lc = H	Бурунді, Кот-д'Івуар, Індія, Кенія, Нігерія, Пакистан, Малі, Чад, Уганда, Зімбабве
B	CB	B	B	lc = B	Австрія, Бельгія, Канада, Швейцарія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Франція, Ірландія, Нідерланди, Норвегія, Швеція
B	CB	B	CB	lc = B	Австрія, Бельгія, Канада, Швейцарія, Чехія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Франція, Ірландія, Нідерланди, Норвегія, Швеція
H	H	*	HC	REST = H	Бурунді, Кот-д'Івуар, Алжир, Кенія, Пакистан, Росія, Чад, Уганда, Зімбабве
HC	H	*	H	IFLOW = H	Бурунді, Кот-д'Івуар, Індія, Кенія, Нігерія, Пакистан, Малі, Чад, Уганда, Зімбабве
H	HC	HC	H	CULTPROX = H	Бурунді, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Нігерія, Малаві, Сенегал, Танзанія, Сирія, Чад, Уганда, Зімбабве
B	CB	B	B	CULTPROX = B	Австрія, Бельгія, Канада, Швейцарія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Франція, Японія, Нідерланди, Норвегія, Швеція

Таблиця 10. Підтверджені обернені гіпотези для показників стану суспільного розвитку та показників глобалізації

Свідоцтва					Підтверджена гіпотеза	Країни-представники
AFLOW	REST	IFLOW	PRSCONT	CULTPROX		
CB	CB	CB	B	B	DI = B	Австрія, Бельгія, Канада, Швейцарія, Німеччина, Данія, Франція, Великобританія, Нідерланди, Норвегія, Португалія, Швеція
HC	H	H	HC	HC	GDP = H	Бурунді, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Індія, Кенія, Пакистан, Мадагаскар, Малаві, Малі, Чад, Уганда, Зімбабве
HC	HC	H	HC	H	GDP = H	Бурунді, Болівія, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Нігерія, Мадагаскар, Малаві, Малі, Танзанія, Чад, Уганда, Зімбабве
HC	H	HC	HC	H	GDP = H	Бурунді, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Мадагаскар, Малаві, Малі, Сенегал, Сирія, Чад, Уганда, Зімбабве
HC	HC	H	H	H	GDP = H	Бурунді, Бенін, Бангладеш, Камерун, Кенія, Нігерія, Мадагаскар, Малаві, Малі, Танзанія, Чад, Уганда
*	*	*	C	C	GDP = C	Болгарія, Чилі, Коста-Рика, Греція, Хорватія, Домініканська Республіка, Йорданія, Малайзія, Литва, Латвія, Мексика, Маврикій, Марокко, Панама, Шрі-Ланка, Оман, Румунія, Туреччина, Україна, Ель-Сальвадор, Уругвай, Таїланд
CB	CB	CB	B	B	GDP = B	Австрія, Бельгія, Канада, Швейцарія, Німеччина, Данія, Франція, Великобританія, Нідерланди, Норвегія, Швеція

чень показників, які характеризують складові економічної та соціальної глобалізації, є державна нестабільність та низький рівень глобальної безпеки. Середній рівень показників, які ха-

рактеризують складові економічної (REST) та соціальної (PRSCONT, CULTPROX) глобалізації, пов'язаний із середнім рівнем глобальної безпеки.

Таблиця 11. Підтверджені прямі гіпотези для показників стану безпеки та показників глобалізації

Свідоцтва					Підтверджена гіпотеза	Країни-представники
SF	PTA	GS	CC	CP		
H	*	H	HC	H	IFLOW = H	Бурунді, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Нігерія, Пакистан, Малаві, Малі, Чад, Уганда, Зімбабве
CB	*	B	B	CB	PRSCONT = B	Австрія, Канада, Данія, Франція, Великобританія, Норвегія, Португалія, Люксембург, Нова Зеландія, Словенія
HB	*	H	HC	H	CULTPROX = H	Барбадос, Бурунді, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Нігерія, Малаві, Малі, Сирія, Чад, Уганда, Зімбабве

Таблиця 12. Підтверджені обернені гіпотези для показників стану безпеки та показників глобалізації

Свідоцтва					Підтверджена гіпотеза	Країни-представники
AFLOW	REST	IFLOW	PRSCONT	CULTPROX		
HC	H	H	HC	HC	SF = H	Бурунді, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Індія, Кенія, Шрі-Ланка, Пакистан, Мадагаскар, Малаві, Малі, Чад, Уганда, Зімбабве
HC	HC	H	H	H	SF = H	Бурунді, Бангладеш, Камерун, Кенія, Нігерія, Мадагаскар, Малаві, Малі, Танзанія, Чад, Уганда
HC	HC	H	HC	H	SF = H	Бурунді, Болівія, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Нігерія, Мадагаскар, Малаві, Малі, Танзанія, Чад, Уганда, Зімбабве
HC	H	H	HC	HC	GS = H	Бурунді, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Індія, Кенія, Пакистан, Мадагаскар, Малаві, Малі, Чад, Уганда, Зімбабве
H	H	HC	HC	HC	GS = H	Бурунді, Бенін, Бангладеш, Камерун, Алжир, Індія, Кенія, Пакистан, Мадагаскар, Малаві, Сенегал, Уганда, Венесуела
HC	H	HC	H	HC	GS = H	Бурунді, Бенін, Бангладеш, Камерун, Індія, Кенія, Пакистан, Мадагаскар, Малаві, Малі, Чад, Уганда, Венесуела
*	C	*	*	C	GS = C	Болгарія, Бахрейн, Бразилія, Ісландія, Хорватія, Домініканська Республіка, Єгипет, Йорданія, Гватемала, Гайана, Кувейт, Індонезія, Малайзія, Литва, Мексика, Маврикій, Нікарагуа, Панама, Перу, Оман, Філіппіни, Румунія, Парагвай, Туреччина, Україна, Ель-Сальвадор, Таїланд
*	*	C	*	C	GS = C	Болгарія, Бахрейн, Аргентина, Чилі, Бразилія, Колумбія, Ісландія, Греція, Ізраїль, Домініканська Республіка, Єгипет, Йорданія, Гайана, Кувейт, Малайзія, Мексика, Маврикій, Марокко, Панама, Перу, Оман, Румунія, Туреччина, Україна, Ель-Сальвадор, Таїланд

Результати моделювання причинно-наслідкових зв'язків між показниками стану безпеки, стану суспільного розвитку та показниками глобалізації

Аналізуючи результати табл. 9–12, можна помітити, що серед показників стану суспільного розвитку рівень демократизації та ВВП найбільше впливають на показники глобалізації та їх складові. Те ж саме можна сказати про такі показники безпеки, як глобальна безпека

та чутливість до корупції. З'ясуємо, як поєднання цих факторів впливає на стан процесів глобалізації. Табл. 13 містить результати моделювання відповідних прямих гіпотез.

Як бачимо з табл. 13, поєднання низьких значень показників GS, CP, GDP визначають низький рівень економічної глобалізації, а поєднання низьких значень показників GS і CP негативно впливає на показник економічних обмежень.

Низькі значення показників GS і GDP визначають низький рівень соціальної глобаліза-

Таблиця 13. Підтверджені прямі гіпотези для найбільш впливових показників стану безпеки і стану суспільного розвитку та показників глобалізації

Свідоцтва				Підтверджена гіпотеза	Країни-представники
GS	CP	DI	GDP		
H	H	HC	H	le = H	Бурунді, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Пакистан, Малаві, Малі, Сирія, Чад, Уганда, Зімбабве
H	HC	HC	H	lc = H	Бурунді, Болівія, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Індія, Кенія, Нігерія, Пакистан, Мадагаскар, Малаві, Малі, Сенегал, Танзанія, Сирія, Чад, Уганда, Зімбабве
B	CB	B	CB	lc = B	Австрія, Бельгія, Канада, Швейцарія, Австралія, Німеччина, Данія, Іспанія, Фінляндія, Франція, Ірландія, Великобританія, Нідерланди, Норвегія, Португалія, Люксембург, Швеція
H	H	HC	HC	REST = H	Бурунді, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Пакистан, Малаві, Малі, Сирія, Чад, Уганда, Венесуела, Зімбабве
H	HC	HC	H	IFLOW = H	Бурунді, Болівія, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Індія, Кенія, Нігерія, Пакистан, Мадагаскар, Малаві, Малі, Танзанія, Чад, Уганда, Зімбабве
HC	H	HC	H	IFLOW = H	Бурунді, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Індонезія, Кенія, Нігерія, Нікарагуа, Пакистан, Малаві, Малі, Чад, Уганда, Зімбабве
H	H	HC	HC	CULTPROX = H	Барбадос, Бурунді, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Нігерія, Малаві, Малі, Сирія, Чад, Уганда, Зімбабве
H	HC	HC	H	CULTPROX = H	Бурунді, Болівія, Бенін, Бангладеш, Кот-д'Івуар, Камерун, Кенія, Нігерія, Мадагаскар, Малаві, Малі, Сенегал, Танзанія, Сирія, Чад, Уганда, Зімбабве
H	HC	H	HC	CULTPROX = H	Барбадос, Бурунді, Кот-д'Івуар, Камерун, Алжир, Кенія, Нігерія, Малаві, Сенегал, Танзанія, Сирія, Чад, Уганда, Зімбабве

ції, в той час як високі значення показників GS і DI забезпечують їй високий рівень.

Найбільш вірогідною причиною низького значення показника, який характеризує інформаційні потоки, є низьке значення показника ВВП, а низькі значення показника культурної близькості визначаються низьким значенням показника глобальної безпеки.

Висновки

У статті запропоновано і апробовано методику застосування БМД для якісного аналізу залежностей та встановлення причинно-наслідкових зв'язків між вимірами, складовими та чинниками глобалізації.

Визначені ентропійні характеристики змінних можна застосовувати для відбору істотних змінних, а також встановлення причинно-наслідкових зв'язків між ними при синтезі топології БМД.

Запропонована БМД для моделювання

причинно-наслідкових зв'язків між показниками, складовими та чинниками глобалізаційних процесів отримана в результаті аналізу ентропійних характеристик змінних, відомих фактів та експертних оцінок причинно-наслідкових зв'язків. Моделювання показало наявність причинно-наслідкових зв'язків між показниками, які є складовими економічного і соціального вимірів глобалізації, що свідчить про їх тісну взаємозалежність.

В результаті моделювання БМД підтверджені гіпотези про наявність причинно-наслідкових зв'язків між значеннями індексу глобалізації, його економічного і соціального вимірів та значеннями відповідних складових економічної, соціальної та політичної глобалізації, дані про які отримані з інших незалежних джерел. Можна зазначити, що найбільш впливовими на процеси глобалізації суспільними факторами є рівень демократизації та рівень ВВП, а з показників безпеки виділяються рівні глобальної безпеки та чутливості до корупції.

А.А. Болдак, А.М. Згуровский

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ БЕЗОПАСНОСТИ, ОБЩЕСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ И ГЛОБАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ

Предложена методика применения байесовских сетей доверия для моделирования причинно-следственных связей между измерениями, составляющими и факторами глобализации. Совместный анализ энтропийных характеристик переменных, известных фактов и экспертных оценок причинно-следственных связей позволил построить модель, с помощью которой подтверждается наличие причинно-следственных связей между составляющими экономического и социального измерений глобализации. Показано, что уровень глобальной безопасности и чувствительности к коррупции, относящиеся к показателям безопасности, а также уровень демократизации общества и уровень ВВП оказывают существенное влияние на процессы глобализации.

A.O. Boldak, O.M. Zgurovsky

MODELLING OF CAUSE-EFFECT RELATIONSHIPS BETWEEN INDICATORS OF SAFETY, SOCIAL DEVELOPMENT AND GLOBALIZATION ON THE BASIS OF BAYESIAN BELIEF NETWORKS

The paper studies the methods of applying Bayesian belief networks for modelling cause-effect relationships between dimensions, components and factors of globalisation. The analysis of entropic characteristics of variables, facts and expert estimations of cause-effect relationships allowed building a model verifying cause-effect relationships between components of economic and social dimensions of globalisation. Moreover, we demonstrate that the levels of democratisation and gross national product, as well as such safety indicators as global safety and corruption perception significantly influence the globalisation processes.

1. *KOF Index of Globalization*. — <http://globalization.kof.ethz.ch/>
2. *The CSGR Globalisation Index*. — <http://www2.warwick.ac.uk/fac/soc/csg/index/>
3. *Zgurovsky A.M.* Research of globalization's interrupted character in context of social development and global security. Part 1. Analysis of pre-crisis perion (up to second half of 2008) // *System Research and Information Technologies*. — 2009. — N 2. — P. 121–132.
4. *Bergh A. and Therese N.* Good for Living? On the Relation between Globalization and Life Expectancy // *World Development*. — 2010. — 9, N 38. — P. 1191–1203.
5. *Pearl J.* *Causality: Models, Reasoning and Inference*. — Cambridge University Press, 2-nd edition, 2009. — 463 p.
6. *Monty G. Marshall and Jack Goldstone:* Global Report on Conflict, Governance and State Fragility // *Foreign Policy Bulletin* 17: 3–21. — Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
7. *The Economist Intelligence Unit's Index of Democracy 2008*. — <http://a330.g.akamai.net/7/330/25828/20081021185552/graphics.eiu.com/PDF>
8. *Global Peace Index*. — <http://www.visionofhumanity.org/gpi/results/rankings/2008/>
9. *Human Development Report 2007/2008*. — http://hdr.undp.org/en/media/hdr_20072008_en_complete.pdf
10. *World Economic Outlook Database-April 2008*, International Monetary Fund.
11. *World Data Center "Geoinformatics and Sustainable Development"*. — <http://wdc.org.ua/>
12. *Згуровський М.З., Гвішіані О.Д.* Глобальне моделювання процесів сталого розвитку в контексті якості і безпеки життя людей. — К.: Політехніка, 2008. — 332 с.
13. *The Transparency International Corruption Perceptions Index*. — http://www.transparency.org/policy_research/surveys_indices/cpi/2009/cpi_2009_table
14. *Hartigan J.A. and Wong M.A.* A K-Means Clustering Algorithm // *Applied Statistics* — 1979. — N 28. — P. 100–108.
15. *Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: исследование зависимостей: Справ. изд. / Под ред. С.А. Айвазяна. — М.: Финансы и статистика, 1985. — 488 с.
16. *Колмогоров А.Н.* Три подхода к определению понятия "количество информации" // *Пробл. передачи информации*. — 1965. — 1, № 1 — С. 3–11.
17. *Габидулин Э.М., Пилипчук Н.И.* Лекции по теории информации. — М.: МФТИ, 2007. — 214 с.
18. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 2002. — 830 с.
19. *The GeNIe (Graphical Network Interface) software package*. — <http://genie.sis.pitt.edu/about.html>

Рекомендована Радою
Навчально-наукового комплексу
"Інститут прикладного системного
аналізу" НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
9 серпня 2010 року