

УДК 681.513

## ЗАСТОСУВАННЯ МГУА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ІНДЕКСУ РОЗВИТКУ ЛЮДСЬКОГО ПОТЕНЦІАЛУ УКРАЇНИ

Савченко Є.А.<sup>1</sup>, Кондиріна А.Г.<sup>2</sup>, Директоренко О.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> - МННЦ ІТ і С НАН та МОН України, м. Київ, пр. Академіка Глушкова, 40,

<sup>2</sup> - Науково-дослідний економічний інститут Міністерства економіки України, м. Київ,

<sup>3</sup> - Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460  
[savchenko@irtc.org.ua](mailto:savchenko@irtc.org.ua),

Показано застосування комбінаторного алгоритму МГУА для середньострокового прогнозування. Розраховано прогноз індексу розвитку людського потенціалу України до 2015 року. Такий прогноз дає змогу оцінити тенденцію зміни показника у майбутньому та дослідити, які показники потрібно впливати, щоб покращити рівень розвитку людського потенціалу країни.

*Ключові слова:* комбінаторний алгоритм МГУА, середньостроковий прогноз, індекс розвитку людського потенціалу України

The application of combinatorial GMDH algorithm for medium-term forecasting is shown. Forecast of Ukraine human development index from 2015 is calculated. Such forecast allows to estimate the tendency of index change in the future and development as indexes it follows to influence by improvements the level of development of human development potential of country.

*Keywords:* combinatorial GMDH algorithm, medium-term forecast, human development index of Ukraine

Показано применение комбинаторного алгоритма МГУА для среднесрочного прогнозирования. Рассчитан прогноз индекса развития человеческого потенциала Украины до 2015 года. Такой прогноз дает возможность оценить тенденцию изменения показателя в будущем и исследовать, на какие показатели следует влиять для улучшения уровня развития человеческого потенциала страны.

*Ключевые слова:* комбинаторный алгоритм МГУА, среднесрочный прогноз, индекс развития человеческого потенциала Украины

### Вступ

Задачею роботи є середньострокове прогнозування показника, який описує людський розвиток України, з метою виявлення тенденції його зміни у майбутньому. Прогноз людського розвитку надасть можливість проаналізувати тенденції розвитку економіки України у майбутньому для покращення окремих соціально-економічних показників.

Автори роботи не претендують на точність середньострокового прогнозу індексу розвитку людського потенціалу України. Метою роботи є показати інструмент для прогнозування показників за невеликою вибіркою даних, яким є метод групового урахування аргументів [1-3].

## 1. Постановка задачі

Для забезпечення стійкого економічного розвитку країні необхідна достатня кількість матеріальних і людських ресурсів. Слід відзначити, що до недавнього часу, на думку фахівців, основним двигуном економічного розвитку виступали матеріальні фактори, але вже із середини ХХ ст. визначальну роль у глобальному економічному розвитку відіграє людський фактор. Науково-технічні революції, створення якісно нових технічних засобів і технологій, небувала інформатизація суспільства – все це наслідки бурхливого розвитку наукового й творчого потенціалу людей. Конкурентоздатність країн у світі все більшою мірою залежить від умов формування та реалізації накопиченого індивідуального людського капіталу. Саме тому проблеми аналізу динаміки людського розвитку стали темами досліджень таких провідних організацій світу, як ООН, Світовий банк та інших міжнародних об'єднань.

Індекс розвитку людського потенціалу (ІРЛП, англ. Human Development Index, HDI) — індекс порівняльної оцінки бідності, грамотності, освіти, середньої тривалості життя та інших показників країни. Індекс був вперше розроблений у 1990 році пакистанським економістом Махбубом уль-Хаком у співпраці з лауреатом Нобелівської премії Амартія Сенем та іншими провідними вченими в області розвитку людського потенціалу і з 1993 року використовується ООН в щорічному звіті з розвитку людського потенціалу. Він був введений в якості альтернативи традиційним показникам національного розвитку, таким як рівень доходів і темпи економічного зростання.

ІРЛП був створений для того, щоб підкреслити, що люди і їх можливості повинні бути кінцевими критеріями оцінки розвитку країни, а не тільки її економічне зростання. ІРЛП також може бути використаний для аналізу варіантів національної політики, піднімаючи питання, як дві країни з однаковим рівнем ВВП на душу населення можуть в кінцевому підсумку мати такі різні показники людського розвитку.

ІРЛП – це інтегральний показник ( $I_0$ ), що розраховується як усереднене значення трьох узагальнюючих показників [4]:

$$I_0 = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3},$$

де  $I_1$  - індекс очікуваної тривалості життя (довголіття);

$I_2$  – індекс досягнутого рівня освіти;

$I_3$  індексу рівня життя.

Після того, як значення ІРЛП розраховані, здійснюється ранжирування країн за цим показником. Країни розбиваються на три групи [5]:

- країни з високим рівнем людського розвитку, для яких  $I_0 \geq 0,8$ ;

- країни з середнім рівнем людського розвитку, для яких  $0,5 \leq I_0 < 0,8$ ;
- країни з низьким рівнем людського розвитку, для яких  $I_0 < 0,5$ .

Значення ІРЛП України за 2000-2008 рр. представлені в табл. 1.

Таблиця 1  
Характеристика людського розвитку (ІРЛП) України в 2000-2008 рр.

Роки	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>
2000	3436	543,45	632,26	67,91	13142,89	91,6	7771,51	0,916	0,591	0,808	0,7222	0,0133	0,0133	0,514
2001	4195	529,85	791,73	68,33	12892,57	92,8	7625,75	0,928	0,591	0,816	0,7220	0,0173	0,0173	0,518
2002	4685	533,24	878,59	68,32	12658,96	93,1	7380,64	0,931	0,583	0,815	0,7207	0,0195	0,0195	0,518
2003	5591	533,15	1048,67	68,24	12383,38	93,8	7071,82	0,938	0,571	0,816	0,7203	0,0238	0,0238	0,520
2004	7273	530,54	1370,87	68,22	12093,14	94,2	6718,19	0,942	0,556	0,813	0,7160	0,0319	0,0319	0,520
2005	9372	505	1855,84	67,96	11744,91	94,6	6335,56	0,946	0,539	0,810	0,7183	0,0440	0,0440	0,524
2006	11630	505	2302,97	68,1	11413,19	94,7	5997,50	0,947	0,525	0,806	0,7208	0,0552	0,0552	0,528
2007	15496	505	3068,51	68,25	11048,17	94,9	5688,87	0,949	0,515	0,804	0,7212	0,0744	0,0744	0,533
2008	20534	770	2666,75	68,27	10630,26	94,7	5399,40	0,947	0,508	0,801	0,7212	0,0643	0,0643	0,529

У таблиці 1 позначено:

- X<sub>1</sub> – ВВП на душу населення, грн;
- X<sub>2</sub> – 100 USD, грн;
- X<sub>3</sub> – ВВП на душу населення, USD;
- X<sub>4</sub> – тривалість життя;
- X<sub>5</sub> – кількість населення у віці 6-24 років, тис. осіб;
- X<sub>6</sub> – рівень грамотності населення від 6 років, %;
- X<sub>7</sub> – учні та студенти, тис. осіб;
- X<sub>8</sub> – індекс грамотності населення від 6 років;
- X<sub>9</sub> – індекс сукупної частки осіб, які навчаються;
- X<sub>10</sub> – індекс освітнього рівня, (I<sub>2</sub>);
- X<sub>11</sub> – індекс очікуваної тривалості життя (I<sub>1</sub>);
- X<sub>12</sub> – індекс скоректованого реального ВВП на душу населення (I<sub>3</sub>);
- X<sub>13</sub> – індекс розвитку людського потенціалу (I<sub>0</sub>).

## 2. Аналіз макроекономічних даних

З метою визначення взаємозалежності та впливу узагальнюючих показників I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> і I<sub>3</sub> на рівень I<sub>0</sub>, використовуючи метод кореляційно-регресійного аналізу, проведено оцінку щільності зв'язку та ступеню впливу складових індексу людського розвитку на ІРЛП в Україні. Значення коефіцієнтів парної кореляції представлені в табл. 2.

Таблиця 2

## Значення коефіцієнтів парної кореляції складових індексу ІРЛП

Показник	Коефіцієнт			
	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_0$
Індекс очікуваної тривалості життя ( $I_1$ )	1			
Індекс освітнього рівня ( $I_2$ )	-0.23041	1		
Індекс скоректованого реального ВВП на душу населення ( $I_3$ )	0.02924	0.80932	1	
ІРЛП ( $I_0$ )	0.00204	0.72279	0.986023	1

Як видно з табл.2,  $I_3$  має найбільший вплив на  $I_0$  (щільність зв'язку дуже висока  $r=0,986$ ), індекс освітнього рівня  $I_2$  теж досить вагомо впливає на ІРЛП ( $r=0,723$ ), а узагальнюючий показник  $I_1$  фактично не чинить впливу на ІРЛП ( $r=0,002$ ).

### 3. Прогнозування ІРЛП

На основі даних табл. 1 було побудовано прогноуючі моделі за методом експоненційного згладжування та регресійним аналізом. Отримані моделі мали велику помилку при прогнозі на крок уперед і виявились недоцільними для прогнозування. Тому для середньострокового прогнозування ІРЛП України до 2015 р. застосовано комбінаторний алгоритм МГУА як метод автоматичної побудови моделі за короткою вибіркою даних [1-3].

Серед критеріїв, що використовують в алгоритмі МГУА виділяють дві групи критеріїв: точності та узгодженості [2]. Критерії точності виражають помилку моделі, яка розраховується на різних частинах вибірки. Критерії узгодженості є мірою близькості оцінок, отриманих на різних частинах вибірки. Прогнозування ІРЛП України до 2015 р. було здійснено із застосуванням МГУА із завданням критерію незміщеності помилок [6,7].

Критерії групи незміщеності є критеріями, які використовуються при середньо- та довгостроковому прогнозуванні, оскільки моделі, отримані за цими критеріями, програють в точності, порівняно з критерієм регулярності, але вказують тенденцію зміни показників.

Враховуючи те, що кількість змінних в таблиці вхідних даних (табл. 1) перевищує кількість спостережень, виникає задача виключення неінформативних аргументів. Для цього розраховуємо модуль коефіцієнту парної кореляції змінних, які наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Значення модулів коефіцієнту парної кореляції змінних

Змінна	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>
X <sub>1</sub>	1.000												
X <sub>2</sub>	0.620	1.000											
X <sub>3</sub>	0.931	0.293	1.000										
X <sub>4</sub>	0.156	0.242	0.077	1.000									
X <sub>5</sub>	0.969	0.463	0.963	0.136	1.000								
X <sub>6</sub>	0.763	0.148	0.852	0.199	0.894	1.000							
X <sub>7</sub>	0.954	0.410	0.970	0.080	0.997	0.904	1.000						
X <sub>8</sub>	0.763	0.148	0.852	0.199	0.894	1.000	0.904	1.000					
X <sub>9</sub>	0.944	0.374	0.975	0.014	0.989	0.891	0.997	0.891	1.000				
X <sub>10</sub>	0.853	0.511	0.810	0.253	0.776	0.451	0.781	0.451	0.807	1.000			
X <sub>11</sub>	0.041	0.194	0.028	0.070	0.124	0.411	0.155	0.411	0.146	0.230	1.000		
X <sub>12</sub>	0.931	0.292	1.000	0.077	0.963	0.853	0.970	0.853	0.975	0.809	0.029	1.000	
X <sub>13</sub>	0.897	0.229	0.986	0.169	0.946	0.880	0.950	0.880	0.950	0.723	0.002	0.986	1.000

Як видно з табл. 3, значення модулів коефіцієнтів парної кореляції змінних X<sub>2</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>11</sub> та ІРЛП (X<sub>13</sub>) мають невеликі значення (менше ніж 0,3), тому можна зробити висновок, що саме ці змінні на протязі 2000-2008 рр. дуже мало впливали на ІРЛП, тому при побудові моделей їх можна не враховувати [8].

При проведенні кореляційно-регресійного аналізу коефіцієнти парної кореляції змінних X<sub>3</sub> та X<sub>12</sub>; X<sub>6</sub> та X<sub>8</sub>; X<sub>7</sub> та X<sub>9</sub>; X<sub>6</sub> та X<sub>8</sub> (див. табл. 3) мають значення близькі до одиниці. Наявність такої мільтіколінеарності змінних може призвести до отримання нестійких оцінок коефіцієнтів моделі, тому з вибірки даних табл. 1 були виключені змінні X<sub>3</sub>, X<sub>7</sub> та X<sub>8</sub>.

Оскільки змінні мають дуже різні значення, їх було нормовано за максимальним значенням для кожної змінної. Для розрахунку середньострокових прогнозних значень ІРЛП до 2015 р. проведені розрахунки кожної змінної покроково на рік вперед:

$$x_{ik+1} = f(x_{jk}), \text{ де } i, j = 1, 2, 4, 5, 6, 9, 10 - 13. \quad (1)$$

Для того, щоб спрогнозувати значення кожної змінної, за комбінаторним алгоритмом обиралась найкраща модель за критерієм незміщеності помилок.

Отримані прогнозні значення показників представлені в табл. 4. Для заповнення кожної клітинки таблиці будувалась нова модель за комбінаторним алгоритмом МГУА.

Побудовані моделі ІРЛП за комбінаторний алгоритмом МГУА із завданням критерію незміщеності рішень наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Прогнозні показники ІРЛП України на 2009-2015 рр.

Рік	Модель для прогнозу ІРЛП	<i>BS</i>
2009	$Y = 1,1724 - 0,2006 \cdot X_9$	0,010133
2010	$Y = 1,1724 - 0,2006 \cdot X_9$	0,121529
2011	$Y = 0,07301 + 0,01075 \cdot X_1 + 0,9175 \cdot X_6$	0,026974
2012	$Y = 1,4502 - 0,0269 \cdot X_1 + 1,0647 \cdot X_6 - 1,5176 \cdot X_{10}$	0,041723
2013	$Y = 1,3932 - 1,3878 \cdot X_4 + 1,0102 \cdot X_6 - 0,0241 \cdot X_9$	0,003477
2014	$Y = 1,3932 - 1,3878 \cdot X_4 + 1,0102 \cdot X_6 - 0,0241 \cdot X_9$	0,007547
2015	$Y = 0,9562 - 0,07075 \cdot X_1$	0,002842

Оскільки моделі будувались для нормованих значень, їх було перераховано. В таблиці 5 наведено прогнозні значення показників, отримані за моделями.

Таблиця 5

Прогнозні показники ІРЛП України на 2009-2015 рр.

Рік	$X_1$	$X_2$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$
2009	15388	541,657	68,221	12987,147	92,8	0,580	0,816	0,720	0,082	0,551
2010	20211	788,403	68,221	13011,855	92,3	0,599	0,816	0,720	0,073	0,517
2011	19808	762,007	68,221	12812,872	92,7	0,585	0,815	0,720	0,075	0,532
2012	19659	769,769	68,221	11266,085	92,6	0,592	0,815	0,720	0,078	0,537
2013	19732	756,602	68,223	10985,353	92,7	0,549	0,815	0,720	0,078	0,533
2014	19699	727,542	68,233	12720,215	93,0	0,525	0,813	0,720	0,081	0,543
2015	19992	632,540	68,226	12616,386	92,6	0,580	0,814	0,720	0,064	0,545

За даними табл. 5 побудовано графік дійсних та прогнозованих ІРЛП України з 2000 - 2015 рр., які й наведено на рис. 2.

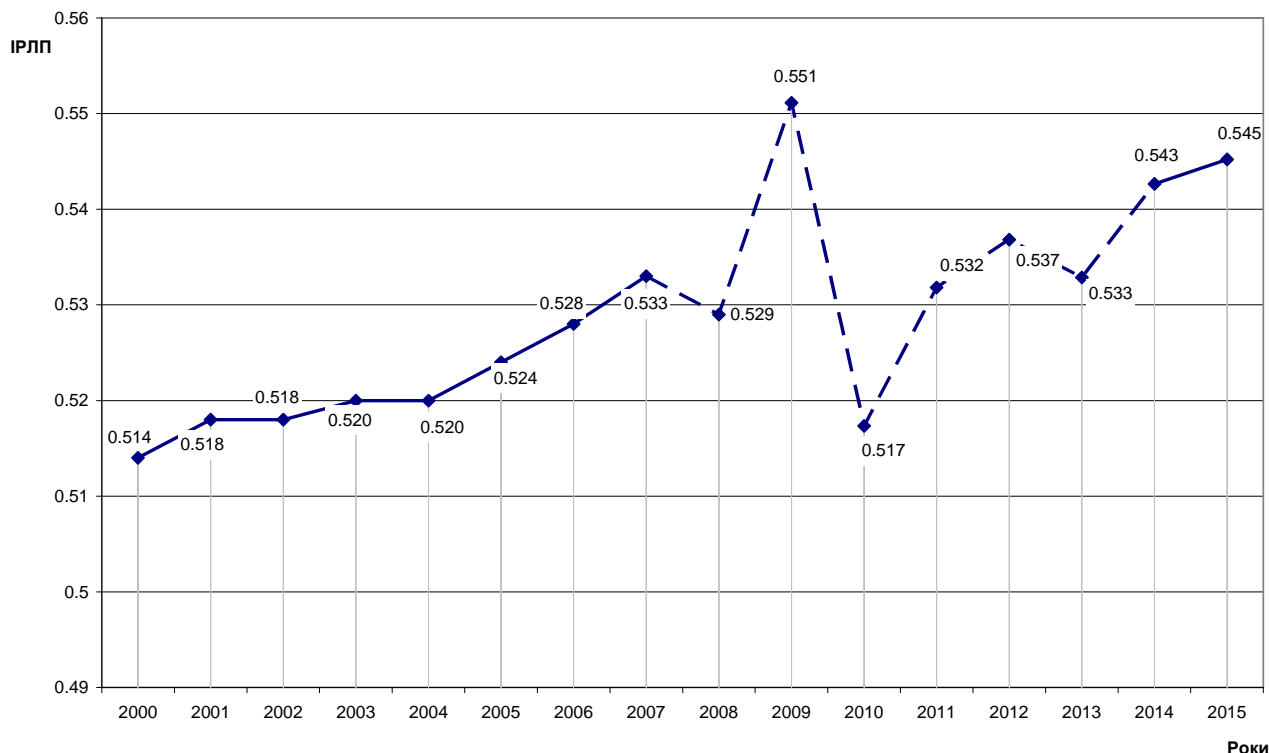


Рис. 2. Прогноз ІРЛП України до 2015 р.

Як видно з рис. 2, ІРЛП в 2009 р. має найбільше значення  $I_0 = 0,551$ , а в 2010 р. різкий провал і на протязі наступних 5 років  $I_0$  навіть не наближається до рівня 2009 р. Такі прогнозні дані говорять про руйнування людського капіталу України та його знецінення. З метою перевірки вище наведених прогнозних значень  $I_0$ , здійснено розрахунок ІРЛП за 2009 р. на основі реальних статистичних даних, а саме

$$I_1 = \frac{69,29 - 60}{60 - 25} = 0,7382, \quad (2)$$

$$I_2 = \frac{2 * 0,949 + 0,734}{3} = 0,877, \quad (3)$$

$$I_3 = \frac{2509,05 - 100}{4000 - 100} = 0,0604, \quad (4)$$

$$I_0 = \frac{0,7382 + 0,877 + 0,0604}{3} = 0,559. \quad (5)$$

З формули (5) видно, що розрахований  $I_0$  за 2009 р. дорівнює 0,559, а прогнозний  $I_0 = 0,551$  (табл. 4), тобто різниця складає 1,4%, таке незначне відхилення прогнозних від розрахункових значень лише підтверджує достовірність обраного метода прогнозування. Так здійснений прогноз

людського розвитку в Україні за 2009-2015 рр. показує, що застосування комбінаторного алгоритму МГУА для проведення аналітичних нормативних розрахунків є абсолютно виправданим і таким, що позитивно впливатиме на підвищення ступеня обґрунтованості зміни макроекономічних показників.

### **Висновки**

Проведено аналіз макроекономічних даних, що описують тенденції розвитку наукового й творчого потенціалу України. Для відсіювання неінформативних змінних розраховано модуль коефіцієнту парної кореляції змінних.

Комбінаторний алгоритм МГУА використано для середньострокового прогнозування індексу розвитку людського потенціалу України. В якості зовнішнього критерію пропонується використання зовнішнього критерію незміщеності помилок як критерію який вказує на тенденцію зміни показників.

### **Література**

1. Ивахненко О.Г. Метод групового урахування аргументів – конкурент методу стохастичної апроксимації // Автоматика . – 1968 . – №3 . –С. 58-72.
2. Ивахненко А.Г., Степашко В.С. Помехоустойчивость моделирования. Киев: Наук. Думка. – 1985. – 215 с.
3. Ивахненко О.Г., Ивахненко Г.О. Индуктивные методы прогнозирования та аналізу складних економічних систем // Економіст. – № 5. – 1998. – С. 88 – 97.
4. Чуприна О.О., Чуприн К.С. Развитие людського потенціалу в Україні: методика оцінки та сучасний стан. – [[http://www.rusnauka.com/25\\_NPM\\_2009/Economics/51367.doc.htm](http://www.rusnauka.com/25_NPM_2009/Economics/51367.doc.htm)].
5. Грішнова О. А. Людський розвиток: Навч. посібник – К.: КНЕУ, 2006. – 308 с.
6. Ivakhnenko A.G., Ivakhnenko G.A., Savchenko E.A. GMDH Algorithm for Optimal Model Choice by the External Error Criterion with the Extension of Definition by Model Bias and Its Applications to the Committees and Neural Networks // Pattern Recognition and Image Analysis. – Vol. 12, № 4. – 2002. – P.347-353.
7. Ивахненко А.Г., Савченко Е.А. Исследование эффективности метода доопределения выбора модели в задачах моделированием с применением МГУА // Проблемы управления и информатики. – 2008. – №2. – С. 65 – 76.
8. Кондиріна А.Г., Савченко Є.А., Директоренко О.В. Прогнозування індексу розвитку людського потенціалу України за комбінаторним алгоритмом МГУА // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту” (ISDMCI’2011): Матеріали міжнародної наукової конференції, Євпаторія. – Херсон: Видавництво ХНТУ, 2011.– Т.2.– С. 221 - 224.