


УДК 519.687.4:616.379:004.93


DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2024.1.II.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2024.1.II.1)

Прогнозування поширеності цукрового діабету в Україні з використанням ланцюгів Маркова

Марія Іванчук

 ID: [0000-0001-9499-0583](https://orcid.org/0000-0001-9499-0583) @: ivanchuk.m@bsmu.edu.ua

Павло Іванчук

 ID: [0000-0003-4394-1591](https://orcid.org/0000-0003-4394-1591) @: paulivanchuk2005@gmail.com

Буковинський державний медичний університет

Ключові слова:

цукровий діабет;
епідеміологія;
медичне прогнозування;
поширеність
захворювання;
ланцюг Маркова;
метод Монте-Карло

Анотація

Цукровий діабет є одним з неінфекційних захворювань, що спричиняють найбільшу проблему в охороні здоров'я. Прогнозування кількості хворих на цукровий діабет, в тому числі й кількості пацієнтів, що потребуватимуть стаціонарного лікування, може допомогти будувати подальшу стратегію системи охорони здоров'я, зокрема передбачити необхідну кількість лікарських засобів та місць у закладах охорони здоров'я для хворих на цукровий діабет.

Прогностичну модель будували за методом Монте-Карло ланцюгів Маркова, джерелом даних були статистичні дані МОЗ України за 1993-2022 роки. Для побудови ланцюга Маркова було розглянуто наступні стани: здоровий, хворий, хворий у стаціонарі, смерть. Для кожного стану розглядали окремо підстани для дітей та дорослих. За початкову точку прийняли 2006 рік, один цикл ланцюга Маркова склав один рік. Прогнозування проводили до 2035 року. На початку кожного циклу до кількості здорових дітей додавали усереднену (за 2006-2017 рр.) кількість новонароджених в Україні за рік. Поглинаючим станом ланцюга Маркова вважали смерть (пацієнта з цукровим діабетом або особи без цукрового діабету).

Побудована прогностична модель передбачає у 2035 році зростання кількості хворих на цукровий діабет дорослих до 1,7 млн осіб, з яких приблизно 200 тисяч потребуватимуть стаціонарного лікування впродовж року. Кількість хворих на цукровий діабет дітей суттєво не зміниться.


Цитування:

Іванчук М, Іванчук П. Прогнозування поширеності цукрового діабету в Україні з використанням ланцюгів Маркова. *Природничі, математичні науки та освіта в медицині* 1(1) 2024 30-8
DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2024.1.II.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2024.1.II.1)




Forecasting the prevalence of diabetes mellitus in Ukraine using Markov chains

Maria Ivanchuk

 [0000-0001-9499-0583](https://orcid.org/0000-0001-9499-0583) @: ivanchuk.m@bsmu.edu.ua

Pavlo Ivanchuk

 [0000-0003-4394-1591](https://orcid.org/0000-0003-4394-1591) @: paulivanchuk2005@gmail.com

Bukovinian State Medical University

Key words:

*diabetes mellitus;
epidemiology;
medical forecasting;
disease prevalence;
Monte Carlo Markov chain*

Abstract

Diabetes mellitus stands out as one of the non-communicable diseases posing the greatest challenge to healthcare. Projecting the number of individuals affected by diabetes, including those requiring hospitalization, can aid in shaping future healthcare strategies, notably anticipating the necessary quantity of medications and hospital beds for diabetic patients.

A predictive model was constructed utilizing the Monte Carlo Markov Chain method, drawing upon statistical data from the Ministry of Health of Ukraine spanning 1993-2022. The model encompassed the following states: healthy, diseased, hospitalized, deceased. Sub-states for children and adults were considered separately. The baseline year was set as 2006, with each Markov chain cycle representing one year. Projections extended to 2035. At the onset of each cycle, the average (over 2006-2017) number of newborns in Ukraine per year augmented the number of healthy children. Death (of a diabetic patient or non-diabetic individual) was regarded as an absorbing state in the Markov chain.

According to the constructed predictive model, by 2035, the number of adult diabetic patients is anticipated to rise to 1.7 million, with approximately 200 thousand necessitating hospitalization within the year. The quantity of diabetic children is projected to remain relatively stable.

Зміст

Вступ	31
Матеріали та методи	33
Результати та їх обговорення	33
Висновки	37
Список використаних джерел	37

Перелік скорочень

ЗОЗ – заклади охорони здоров'я

ЛМ – ланцюг Маркова

ММ – моделі Маркова

ММ-КЛМ - метод Монте-Карло для ланцюгів Маркова

МС – марковський стан

ЦД – цукровий діабет

Вступ

Цукровий діабет разом з серцево- та хронічними респіраторними захворюваннями, раком хворюваннями є основними неін-

Розділ 2. Математичні науки в медицині
Section 2. Mathematical sciences in medicine

фекційними захворюваннями, які становлять серйозну проблему для громадського здоров'я, негативно впливають на якість життя пацієнтів і на загальний стан системи охорони здоров'я [6].

Світова поширеність ЦД та порушення толерантності до глюкози у дорослих невинно зростає впродовж останніх десятиліть. Вважають, що у половини людей з вже наявним діабетом діагноз не є встановлений [6]. Висока поширеність ЦД має важливі соціальні та фінансові наслідки, особливо для людей із низьким і середнім доходом. Основні соціальні наслідки ЦД пов'язані з використанням медичних та соціальних ресурсів, оскільки витрати на медичне обслуговування хворих на ЦД утричі вищі, ніж у людей без захворювання. Крім того, зростання поширеності ЦД у поєднанні зі збільшенням витрат на медичну допомогу на душу населення, свідчить про те, що тягар діабету для систем охорони здоров'я продовжуватиме зростати. Витрати, які традиційно асоціюють з діабетом, включають візити до лікаря, невідкладну допомогу, госпіталізацію та медикаментозне лікування. Наявність ускладнень і госпіталізація є основними факторами витрат. Зокрема витрати, пов'язані з госпіталізацією, становлять більше двох третин загальних витрат, пов'язаних з діабетом. Пацієнти з ЦД мають підвищений ризик госпіталізації через макросудинні ускладнення (наприклад, захворювання коронарної артерії, цереброваскулярні та периферичні судинні захворювання) та мікросудинні ускладнення (наприклад, ретинопатія, нефропатія і нейропатія). Як результат, - вплив цукрового діабету на систему охорони здоров'я та національну економіку викликає все більше занепокоєння. Прогнозування кілько-

сті хворих на ЦД, а, особливо, кількості пацієнтів, що потребуватимуть стаціонарного лікування, може допомогти будувати подальшу стратегію системи охорони здоров'я, зокрема передбачити необхідну кількість лікарських засобів та місць у закладах охорони здоров'я (ЗОЗ) для хворих на цукровий діабет.

В даній роботі розглянуто використання ММ-КАМ для прогнозування поширеності ЦД в Україні на найближчі десять років. ЛМ – це такий випадковий процес в дискретній множині часу, для якого в кожний момент часу імовірність будь-якого майбутнього стану системи залежить тільки від її теперішнього стану та не залежить від того, як система перейшла в цей стан. У 1983 році Бек і Паукер [1] описали використання ММ для медичного прогнозування, і відтоді ЛМ набувають популярності не тільки в економічних та соціологічних дослідженнях, а й в медичних [2-5,8].

ММ припускають, що пацієнт завжди перебуває в одному зі скінченої кількості дискретних станів здоров'я, іншими словами, у МС. Всі події, що зміни станів пацієнтів, описують як перехід з одного МС в інший. Часовий простір аналізу розділяють на рівні часові проміжки (цикли), впродовж яких пацієнт із певною ймовірністю може перейти з одного стану в інший.

Довжину циклу вибирають таким чином, щоб представляти клінічно значимий проміжок часу. Для моделей, що охоплюють все життя пацієнта, цикл зазвичай становить один рік. Для того, щоб ЛМ був скінченим, він повинен містити хоча б один поглинаючий стан, з якого пацієнт не може перейти в інші стани. В медичних моделях таким станом є смерть пацієнта, оскільки це єдиний стан, з якого пацієнт не може вийти [8].

Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження було вивчити основні епідеміологічні показники ЦД та на основі отриманих даних побудувати прогностичну модель поширеності ЦД на найближчі 10 років.

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

Матеріали та методи

Джерело вхідних даних для побудови моделі – статистичні дані МОЗ України, розташовані у вільному доступі на сайті Центру громадського здоров'я України [9], а саме: звітні форми №12 (кількість зареєстрованих хворих) та №20 (кількість пролікованих хворих) за 1993-2022 роки.

Прогностичну модель буду-

вали за методом ММ-КЛМ ланцюгів, провівши 10^3 ітерацій.

Google таблиці використовували як місце накопичення і первинної обробки статистичних даних проводили за допомогою, алгоритм методу ММ-КЛМ реалізували у програмі MATLAB R2023b.

Результати та їх обговорення

Для визначення епідеміологічних показників ЦД, а саме поширеності, за-

хворюваності та смертності були використані: форма №12 та форма №20

Таблиця 1
Кількість зареєстрованих хворих на ЦД (форма №12)

Рік	Дорослі (18 років і старші)		З них чоловіки-60 років та старші, жінки-55 років та ст.		Діти 15-17 років		Діти 0-14 років	
	Зареєстровано захворювань	в т.ч. вперше в житті	Зареєстровано захворювань	в т.ч. вперше в житті	Зареєстровано захворювань	в т.ч. вперше в житті	Зареєстровано захворювань	в т.ч. вперше в житті
1993	878762	59096	-**	-	2837	289	5054	920
1994	883898	53985	-	-	2818	296	5138	868
1995	884826	49930	-	-	2935	302	5019	836
1996	887367	53118	579180	27789	3055	338	4987	870
1997	879234	56390	593494	31085	3116	391	5005	897
1998	880799	62437	604279	35875	3135	362	5073	897
1999	899412	62701	616040	37375	3277	360	4993	808
2000	904585	63958	613416	38147	3244	322	5019	823
2001	907332	70519	620273	41794	3257	302	4958	786
2002	912246	74762	628628	44563	3236	301	4774	731
2003	929108	80529	638002	47410	3227	285	4768	829
2004	961220	91356	660625	54595	3300	309	4749	786
2005	998790	100010	677312	59172	3220	250	4642	802
2006	1040464	105650	701434	62063	3321	233	4590	772
2007	1086193	110255	735319	65576	3382	225	4549	779
2008	1 165 253	117 934	786 175	69 242	3 293	204	4 627	774
2009	1 210 181	116 352	817 886	68 582	3 202	191	4 655	854
2010	1 249 230	117 371	849 353	69 365	3 143	210	4 962	958
2011	1 296 041	120 589	882 342	71 377	2 983	224	5 173	958
2012	1 345 419	127 523	910 468	76 737	2 960	197	5 383	979
2013	1 411 769	128 259	932 328	77 094	2 916	181	5 837	1 106
2014	1 223 900	102 968	824 812	60 578	2 658	228	5 600	1 100
2015	1 244 714	98 363	842 754	56 401	2 479	151	6 069	1 039
2016	1 268 829	97 744	859 791	56 570	2 530	189	6 533	1 196
2017*	1 294 454	108 156	875 816	64 178	2 651	184	7 146	1 307

* Після 2017 року у звітах МОЗ відсутня форма №12

** У 1993-1995 р.р. відсутні дані про хворих похилого віку

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

статистичної звітності МОЗ України. Отримані дані представлені у таблицях 1 та 2.

Оскільки інформація про кількість зареєстрованих хворих наявна тільки до 2017 року, а вікова структура форми № 20 змінилася у 2006 році, то для побудови прогностичної моделі використовували дані за 2006-2017 роки. Крім того, для по-

будови моделі були використані відкриті дані Державної служби статистики України щодо складу населення України: загальної кількості, народжуваності, смертності, вікової структури [7]. Початковою точкою ЛМ вважали 2006 рік. Роки з 2007 по 2017 використовували для перевірки якості моделі. На початку кожного циклу

Таблиця 2
Склад хворих на ЦД в стаціонарі, строки та результат лікування (форма №20)

Рік	Дорослі			Діти*				
	виписано хворих	проведено виписаними ліжко-днів	померло	виписано хворих	у т.ч. в віці до 1 року	проведено виписаними ліжко-днів	померло	у т.ч. в віці до 1 року
1993	96140	2034898	1908	3665	4	64284	13	0
1994	92849	1938785	2138	3820	3	65649	10	0
1995	90981	1907174	2001	4217	3	73359	10	1
1996	88145	1781952	1805	3928	2	68516	16	0
1997	86626	1639525	1415	4146	5	67026	10	0
1998	89715	1641710	1284	4645	4	73979	6	0
1999	91298	1603249	1396	4861	7	75389	9	0
2000	95671	1611879	1358	5099	2	73180	6	0
2001	98794	1628900	1264	5104	9	73570	5	1
2002	105876	1698758	1208	5175	5	71475	7	0
2003	108545	1717958	1174	5541	9	77755	4	0
2004	115968	1770408	1144	5593	9	77334	5	0
2005	126677	1852485	1208	5660	10	74682	4	0
2006	132795	1899746	1231	8663	23	105923	7	0
2007	140706	1960388	1298	8592	20	108193	10	0
2008	156 954	2 170 316	1 224	9 564	26	120 571	4	0
2009	156 127	2 131 073	1 201	9 236	30	113 365	2	1
2010	164 332	2 204 018	1 225	9 872	18	118 144	7	0
2011	168 822	2 215 655	1 185	10 216	30	119 428	3	0
2012	172 469	2 209 236	1 322	10 102	23	115 945	6	0
2013	179 649	2 282 191	1 281	11 129	28	124 390	1	0
2014**	153 545	1 916 998	1 073	9 644	11	107 295	3	0
2015	151 363	1 888 604	1 123	10 282	23	112 910	3	0
2016	153 305	1 885 252	1 184	10 672	16	111 002	1	0
2017	160 640	1 934 569	1 187	11 750	14	120 969	2	0
2018	162 297	1 921 085	1 287	12 273	13	124 428	6	0
2019	161 812	1 873 545	1 287	12 826	15	130 323	3	0
2020	90 457	1 027 706	1 400	7 978	16	82 033	3	0
2021	88 290	961 091	1 409	10 041	15	93 155	2	0
2022	105 542	1 117 020	1 402	7 743	15	69 807	4	0

*У звітах за 1993-2005 роки представлені дані дітей віком 0-14 років, а дорослі представлені разом з підлітками 15-17 років, з 2006 року дані дітей віком 0-17 років представлені разом

** з 2014 року у звітах відсутні дані з тимчасово окупованого Криму.

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

ЛМ до кількості здорових дітей додавали усереднену (в період з 2006 по 2017 рік) кількість новонароджених за рік.

Для побудови ЛМ було розглянуто наступні стани:

- *Здоровий* (людина, що не хворіє на ЦД)
- *Хворий* (zareєстрований хворий на ЦД)
- *Хворий у стаціонарі* (zareєстрований хворий на ЦД, що в поточному році перебував на стаціонарному лікуванні)
- *Смерть* (людина, що померла в поточно-му році, незалежно від наявності ЦД)

Оскільки ймовірності переходу між станами відрізняються у різних вікових груп, для кожного стану розглядали три підстанти, в залежності від віку:

- *дитина* (вік 0-17 років)
- *дорослий* (жінки віком 18-54 роки, чоловіки віком 18-59 років)
- *похилий вік* (жінки від 55 років та чоловіки від 60 років)

Згідно статистичних даних МОЗ, майже кожна дитина з ЦД впродовж року перебувала на стаціонарному лікуванні, тому для дітей стан *Хворий у стаціонарі* не розглядався.

Ймовірності переходу між станами в побудованій моделі ЛМ представлені в Таблиці 3. Розглянемо до-

кладніше матрицю ймовірностей ЛМ.

Здорова дитина може захворіти (перейти у стан *Хвора дитина*) з ймовірністю, яка відповідає середній кількості (за 2006-2017) вперше zareєстрованих випадків ЦД у дітей. Перехід зі стану *Здорова дитина* у стан *Смерть* відповідає дитячій смертності від усіх причин. Перехід зі стану *Здорова дитина* у стан *Здоровий дорослий*, а також зі стану *Хвора дитина* у стан *Хворий дорослий* відповідає кількості дітей, що досягнули 18-річного віку, і може бути вирахований з показників народжуваності 18 років тому.

Хвора дитина впродовж одного циклу ЛМ (одного року) може залишитися в цьому ж стані або перейти в стан *Дорослий хворий*. Перехід у стан *Смерть* відповідає дитячій смертності від ускладнень ЦД.

Здоровий дорослий може:

- перейти в стан *Хворий дорослий* з ймовірністю, що відповідає ймовірності захворіти уперше для осіб цієї вікової групи;
- перейти в стан *Здоровий похилого віку* з ймовірністю, що відповідає відношенню жінок віком 55 років та чоловіків віком 60 років до кількості жінок віком 18-54 роки та чоловіків 18-59 років.

Перехід у стан *Смерть* відбувається

Таблиця 3
 Матриця ймовірностей ЛМ для моделювання захворюваності на ЦД

	Здорова дитина	Хвора дитина	Здоровий дорослий	Хворий дорослий	Хворий дорослий у стаціонарі	Здоровий похилого віку	Хворий похилого віку	Хворий похилого віку у стаціонарі	Смерть
Здорова дитина	0,94993	0,00007	0,035	0	0	0	0	0	0,015
Хвора дитина	0	0,9495	0	0,035	0	0	0	0	0,0155
Здоровий дорослий	0	0	0,9712	0,0028	0	0,02	0	0	0,006
Хворий дорослий	0	0	0	0,803	0,127	0	0,02	0	0,05
Хворий дорослий у стаціонарі	0	0	0	0,969	0	0	0,02	0	0,011
Здоровий похилого віку	0	0	0	0	0	0,93771	0,00229	0	0,06
Хворий похилого віку	0	0	0	0	0	0	0,823	0,127	0,05
Хворий похилого віку у стаціонарі	0	0	0	0	0	0	0,989	0	0,011
Смерть	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

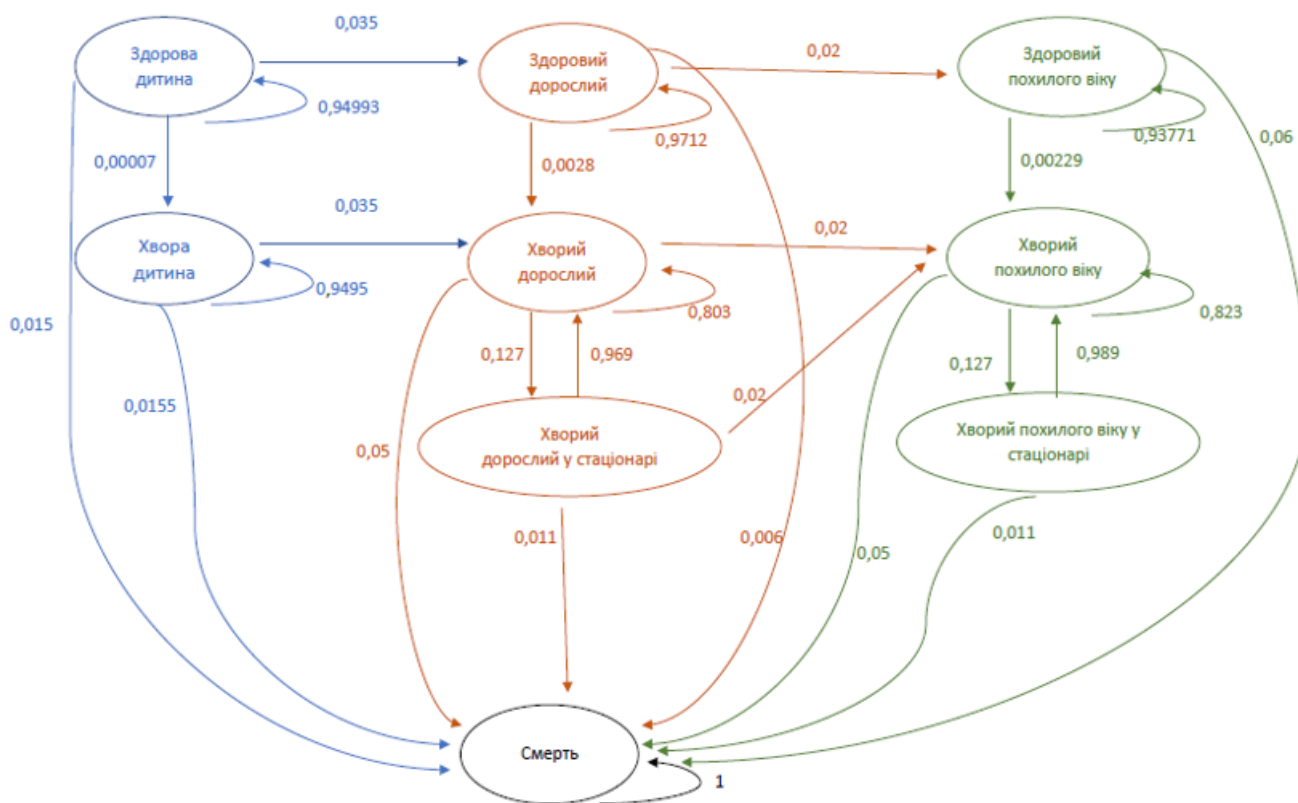


Рис.1.ЛМ для моделювання захворюваності на ЦД

з ймовірністю, що відповідає смертності від усіх причин для цієї вікової групи.

Хворий дорослий може впродовж року залишатися в цьому ж стані, лікуватися в стаціонарі із ймовірністю, що відповідає даним форми №20, набуті віку 55 (жінки) або 60 (чоловіки) та перейти в підстан *Похилий вік* або перейти в стан *Смерть* з ймовірністю смертності дорослих осіб від ускладнень ЦД.

Хворий дорослий у стаціонарі, може перейти в стан *Хворий дорослий*, перейти в підстан *Похилий вік* або перейти в стан *Смерть* з ймовірністю, що відповідає смертності хворих на ЦД в стаціонарі.

Здоровий похилого віку може перейти в стан *Хворий похилого віку* з ймовірністю, що відповідає ймовірності захворіти уперше для осіб старше 55 (жінки) або 60 (чоловіки) років, залишитися в тому ж стані, або перейти в стан *Смерть* з ймовірністю, що відповідає смертності осіб цієї вікової групи.

Оскільки у формі №20 особи немає

окремих даних про осіб похилого віку, ймовірності переходу в стан *Хворий* в стаціонарі та смертність в стаціонарі розраховуються аналогічно ймовірностям підстану *Дорослий*.

ЛМ, що відповідає описаній матриці ймовірностей представлений на рис.1

Метод Монте-Карло застосовували із 10^3 ітерацій. Середнє відхилення прогнозованої кількості хворих на ЦД від статистичних даних МОЗ за 2007-2017 роки склало 7,2%.

Отримано такий прогноз: кількість дорослих (в т.ч. похилого віку), хворих на ЦД у 2035 році збільшиться на 34% порівняно з 2017 роком і становитиме близько 1,7 млн осіб, з яких приблизно 200 тисяч потребуватимуть стаціонарного лікування впродовж року; кількість дітей, хворих на ЦД суттєво не зміниться, і впродовж наступних 10 років коливатиметься в межах 8-9 тисяч осіб.

Графічне зображення прогностичних моделей представлено на рис. 2-4.

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

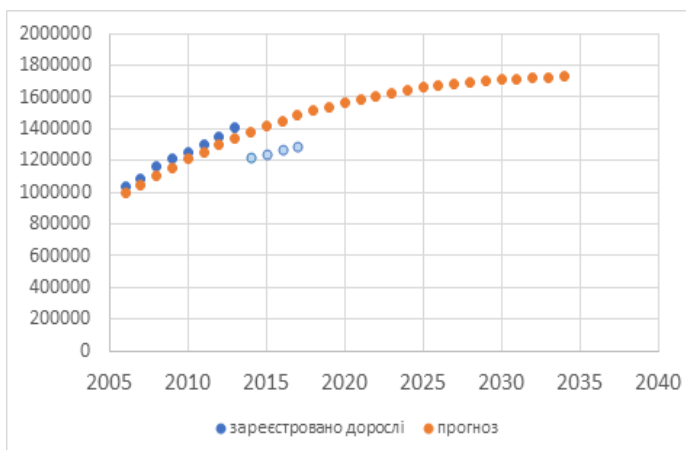


Рис.2.Прогноз зареєстрованої кількості дорослих з ЦД*

*З 2014 року у статистичних звітах МОЗ відсутня інформація про хворих, що перебувають на тимчасово окупованих територіях. Прогностична модель будувалася з врахуванням усіх територій України.

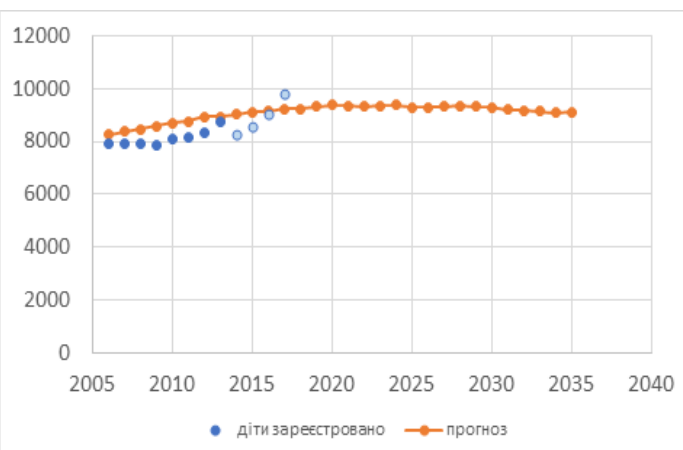
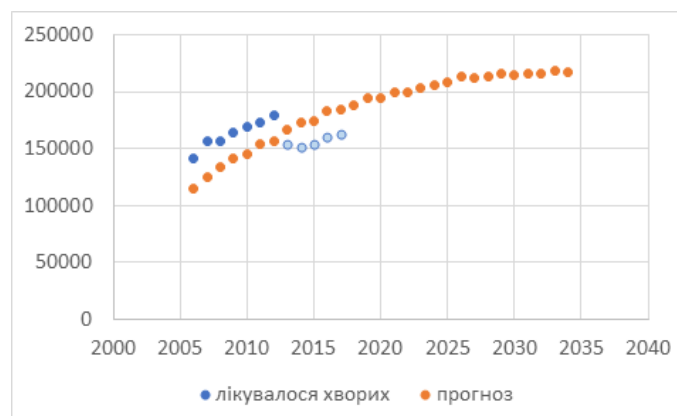


Рис.3.Прогноз зареєстрованої кількості дітей з ЦД

Рис.4

Прогноз кількості дорослих з ЦД, що потребуватимуть стаціонарного лікування впродовж року



Висновки

У роботі запропоновано використання методу ММ-КЛМ для прогнозування розвитку ЦД в Україні в найближчі 10 років. Передбачено зростання кількості хворих на ЦД дорослих до 1,7 млн осіб, з яких приблизно 200 тисяч потребуватимуть стаціонарного лікування впродовж року. Кількість хворих на

ЦД дітей, згідно побудованої прогностичної моделі, суттєво не зміниться.

Отриманий прогноз дозволяє будувати подальшу стратегію системи охорони здоров'я та передбачити необхідну кількість лікарських засобів та місць у ЗОЗ для хворих на ЦД.

Перспективи подальших досліджень

Заплановано побудувати прогностичні моделі поширення ЦД іншими методами та вибрати найкращу модель. Крім того, плануємо оновити отриману прогностичну модель при зміні демографічної ситуації в Україні.

Конфлікт інтересів

Автори декларують відсутність конфлікту інтересів

Список використаних джерел

1. Beck JR, Pauker SG. The Markov Process in Medical Prognosis. Med Decis Mak [Інтернет]. Груд. 1983 [цитовано 20 трав. 2024];3(4):419-58. Доступно на: <https://doi.org/10.1177/0272989x8300300403>
2. Ivanchuk P, Ivanchuk M. One Example Of Using Markov Chain Monte Carlo Method For Predicting In Medicine. Cardiol Cardiovasc Res. Жовт. 2017;1(4):113-116. [10.11648/j.ccr.20170104.13](https://doi.org/10.11648/j.ccr.20170104.13).
3. Olfatifar M, Zali MR, Pourhoseingholi MA, Balaii H, Ghavami SB, Ivanchuk M, Ivanchuk P, Nazari SH,

Розділ 2. Математичні науки в медицині
Section 2. Mathematical sciences in medicine

- shahrokh S, Sabour S, Khodakarim S, Aghdaei HA, Rohani P, Mehralian G. The emerging epidemic of inflammatory bowel disease in Asia and Iran by 2035: A modeling study. BMC Gastroenterol [Інтернет]. 6 трав. 2021 [цитовано 20 трав. 2024];21(1). Доступно на: <https://doi.org/10.1186/s12876-021-01745-1>
- Sato RC, Zouain DM. Markov Models in health care. Einstein (Sao Paulo) [Інтернет]. Верес. 2010 [цитовано 20 трав. 2024];8(3):376-9. Доступно на: <https://doi.org/10.1590/s1679-45082010rb1567>
 - Sonnenberg FA, Beck JR. Markov Models in Medical Decision Making. Med Decis Mak [Інтернет]. Груд. 1993 [цитовано 20 трав. 2024];13(4):322-338. Доступно на: <https://doi.org/10.1177/0272989x9301300409>
 - Атлас: Діабет в Україні. [Internet]. <https://diabetesatlas.com.ua/> [цитовано 20 трав. 2024].
 - Державна служба статистики України [Internet]. [цитовано 20 трав. 2024] <https://www.ukrstat.gov.ua>
 - Іванчук МА, Іванчук ПР. Використання методу Монте-Карло для марковських ланцюгів для прогнозування поширеності ішемічної хвороби серця в Україні. Мед. інформатика та інженерія. 2017;(4):77-81 [цитовано 20 трав. 2024]. Доступно на: <http://dx.doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2017.4.8466>
 - Центр медстатистики [Інтернет]. Центр медстатистики; [цитовано 20 трав. 2024]. Доступно на: <http://medstat.gov.ua>

References

- Beck JR, Pauker SG. The Markov Process in Medical Prognosis [Internet]. Vol. 3, Medical Decision Making. SAGE Publications; 1983. p. 419–58. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0272989x8300300403>
- Ivanchuk, Maria & Ivanchuk, Pavlo. (2017). One Example of Using Markov Chain Monte Carlo Method for Predicting in Medicine. 113-116. [10.11648/j.ccr.20170104.13](https://doi.org/10.11648/j.ccr.20170104.13).
- Olfatifar M, Zali MR, Pourhoseingholi MA, Balaii H, Ghavami SB, Ivanchuk M, et al. The emerging epidemic of inflammatory bowel disease in Asia and Iran by 2035: A modeling study [Internet]. Vol. 21, BMC Gastroenterology. Springer Science and Business Media LLC; 2021. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12876-021-01745-1>
- Sato RC, Zouain DM. Markov Models in health care [Internet]. Vol. 8, Einstein (São Paulo). FapUNIFESP (SciELO); 2010. p. 376–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-45082010RB1567>
- Sonnenberg FA, Beck JR. Markov Models in Medical Decision Making [Internet]. Vol. 13, Medical Decision Making. SAGE Publications; 1993. p. 322–38. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0272989x9301300409>
- Atlas: Diabetes in Ukraine. [Internet]. <https://diabetesatlas.com.ua/> [цитовано 20 трав. 2024].
- State Statistics Service of Ukraine [Internet]. <https://www.ukrstat.gov.ua>
- Ivanchuk MA, Ivanchuk PR. The use of the Monte Carlo method for Markov chains to forecast the prevalence of ischemic heart disease in Ukraine [Internet]. Medical Informatics and Engineering. Ternopil State Medical University; 2018. Available from: <http://dx.doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2017.4.8466>
- Public Health Center of the Ministry of Health of Ukraine [Internet]. <http://medstat.gov.ua>