

**Національна академія наук України  
Інститут проблем ринку та економіко-екологічних досліджень  
Міжвідомча ініціативна робоча група з математичного прогнозування  
розвитку епідемії коронавірусу COVID-19**

(Створена Наказом Директора Інституту 19 березня 2020 р. № 16,

**ДОДАТОК 1**

**Прогноз та результати аналізу точності прогнозу  
розвитку епідемії коронавірусу COVID-19 в Україні**

(за матеріалами Прогнозного монітору № 88 від 03.06.2020  
<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/147699283539642>)

Одеса 2020

## **A mathematical model and forecast for the coronavirus disease COVID-19 in Ukraine**

(A.B. Alyokhin, B.V. Burkynskyi, A.B. Brutman, A.N. Grabovoi, V.A. Dilenko, N.I. Khumarova)

Математична модель і прогноз епідемії коронавірусу COVID-19 в Україні

(O.B. Альохін, B.B. Буркинський, A.B. Брутман, O.M. Грабовий, B.O. Діленко, N.I. Хумарова)

Математическая модель и прогноз эпидемии коронавируса COVID-19 в Украине

(A.B. Алёхин, B.B. Буркинский, A.B. Брутман, A.N. Грабовой, B.A. Диленко, N.I. Хумарова)

Прогнозний монітор

03.06.2020. No 88.

Передостанній прогноз розвитку епідемії коронавірусу COVID-19 в Україні був опублікований 20-го травня (див.

<https://www.facebook.com/ab.al yokhin/posts/142220040754233>). Зараз ми представляємо результати аналізу точності цього прогнозу за статистичними даними за період прогнозування в 14 днів (21.05-03.06.2020 р). На цей раз, на жаль, в нашому моніторі будуть превалювати оцінки процесу розвитку епідемії та результатів її стримування.

Зауваження з методології прогнозування

Ми неухильно дотримуємося стратегії точкового прогнозування, що передбачає розробку точкових прогнозів із зазначенням відповідних довірчих інтервалів. Такий підхід принципово відрізняється від сценарного, який передбачає комп'ютерний аналіз моделі з використанням тих чи інших сценаріїв розвитку подій. Ці два підходи не протистоять, а доповнюють один одного, і в загальному випадку покликані вирішувати різні завдання.

Вибір нашою робочою групою методології точкового прогнозування обумовлений такими основними причинами.

По-перше, точкові прогнози дають однозначну картину розвитку епідемії. Разом з довірчими інтервалами, що вказують діапазони можливих відхилень з певною ймовірністю, це усуває основні слабкі місця таких прогнозів.

По-друге, точкові прогнози допускають кількісну оцінку точності прогнозів із застосуванням загальноприйнятих критеріїв. Це дуже важливо для вдосконалення моделі, техніки прогнозування та підвищення точності майбутніх прогнозів.

По-третє, незважаючи на те, що розроблена нами модель в однаковій мірі може бути застосована як для точкового, так і для сценарного прогнозування, ми вважаємо, що сценарний комп'ютерний аналіз повинен ґрунтуватися на чітко визначених сценаріях або чітко сформульованих вимогах до таких сценаріїв. Якісне рішення цієї задачі під силу тільки за спільної участі кваліфікованих представників Замовника таких прогнозів.

Результати прогнозних розрахунків і ступінь їх відповідності зі статистичними даними характеризують табл. 1 і табл. 2, а також графіки рис. 3-15.

Оцінки точності прогнозу наведено в табл.1 і табл. 2.

Таблица 1.

**Прогнозні і статистичні дані та оцінки прогнозу показників загальної кількості інфікованих, померлих та вилікуваних в Україні**

**Fig. 1. Forecasts. Statistics, Forecast error estimates: Ukraine**

Date	Total Cases				Deaths				Recovered			
	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	Forecast	Statistics	MAE	MAPE
21.05.2020	19 470	19 706	236	1,20%	580	579	1	0,17%	6 307	6 227	80	1,28%
22.05.2020	19 761	20 148	387	1,92%	596	588	8	1,36%	6 766	6 585	181	2,75%
23.05.2020	20 034	20 580	546	2,65%	609	605	4	0,66%	7 131	6 929	202	2,92%
24.05.2020	20 289	20 986	697	3,32%	624	617	7	1,13%	7 403	7 108	295	4,15%
25.05.2020	20 526	21 245	719	3,38%	640	623	17	2,73%	7 670	7 234	436	6,03%
26.05.2020	20 745	21 584	839	3,89%	654	644	10	1,55%	7 934	7 575	359	4,74%
27.05.2020	20 947	21 905	958	4,37%	665	658	7	1,06%	8 195	7 995	200	2,50%
28.05.2020	21 133	22 382	1 249	5,58%	679	669	10	1,49%	8 544	8 439	105	1,24%
29.05.2020	21 303	22 811	1 508	6,61%	693	679	14	2,06%	8 980	8 934	46	0,51%
30.05.2020	21 458	23 204	1 746	7,52%	706	696	10	1,44%	9 329	9 311	18	0,19%
31.05.2020	21 599	23 672	2 073	8,76%	715	708	7	0,99%	9 590	9 538	52	0,55%
01.06.2020	21 726	24 012	2 286	9,52%	728	718	10	1,39%	9 853	9 690	163	1,68%
02.06.2020	21 841	24 340	2 499	10,27%	740	727	13	1,79%	10 118	10 078	40	0,40%
03.06.2020	21 944	24 823	2 879	11,60%	751	735	16	2,18%	10 388	10 440	52	0,50%
<b>MAE*/MAPE*</b>			<b>1 330</b>	<b>5,76%</b>			<b>10</b>	<b>1,43%</b>			<b>159</b>	<b>2,10%</b>

(\*) for the whole forecast (21.05-03.06.2020)

Таблиця 2.

**Прогнози і статистичні дані та оцінки прогнозу показників загальної кількості інфікованих, померлих та вилікуваних в Україні**

**Fig. 2. Forecasts. Statistics, Forecast error estimates: Ukraine (II)**

Date	I <sub>TC</sub>				I <sub>CC</sub>				IP			
	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	Forecast	Statistics	MAE	MAPE
21.05.2020	2,98%	2,94%	0,04%	1,45%	8,39%	8,51%	0,12%	1,40%	35,63%	34,54%	1,09%	3,16%
22.05.2020	3,02%	2,92%	0,10%	3,47%	8,19%	8,20%	0,01%	0,11%	36,96%	35,60%	1,36%	3,81%
23.05.2020	3,04%	2,94%	0,10%	3,36%	7,95%	8,03%	0,08%	0,96%	38,25%	36,61%	1,65%	4,50%
24.05.2020	3,08%	2,94%	0,14%	4,71%	7,81%	7,99%	0,18%	2,25%	39,47%	36,81%	2,66%	7,21%
25.05.2020	3,12%	2,93%	0,18%	6,30%	7,70%	7,93%	0,22%	2,83%	40,48%	36,98%	3,50%	9,46%
26.05.2020	3,15%	2,98%	0,17%	5,72%	7,61%	7,84%	0,23%	2,90%	41,48%	38,08%	3,41%	8,94%
27.05.2020	3,18%	3,00%	0,17%	5,71%	7,45%	7,60%	0,15%	1,97%	42,64%	39,50%	3,14%	7,94%
28.05.2020	3,21%	2,99%	0,23%	7,56%	7,33%	7,35%	0,01%	0,16%	43,90%	40,69%	3,21%	7,88%
29.05.2020	3,25%	2,98%	0,28%	9,29%	7,21%	7,06%	0,15%	2,10%	45,17%	42,14%	3,03%	7,18%
30.05.2020	3,29%	3,00%	0,29%	9,68%	7,09%	6,96%	0,13%	1,92%	46,45%	43,13%	3,33%	7,71%
31.05.2020	3,31%	2,99%	0,32%	10,77%	6,96%	6,91%	0,05%	0,65%	47,65%	43,28%	4,37%	10,10%
01.06.2020	3,35%	2,99%	0,36%	12,05%	6,88%	6,90%	0,02%	0,28%	48,73%	43,34%	5,38%	12,42%
02.06.2020	3,39%	2,99%	0,40%	13,42%	6,80%	6,73%	0,07%	1,11%	49,83%	44,39%	5,44%	12,25%
03.06.2020	3,42%	2,96%	0,46%	15,66%	6,71%	6,58%	0,13%	1,94%	51,12%	45,02%	6,10%	13,55%
<b>MAE*/MAPE*</b>			<b>0,23%</b>	<b>7,80%</b>			<b>0,11%</b>	<b>1,47%</b>			<b>3,40%</b>	<b>8,29%</b>

(\*) for the whole forecast (21.05-03.06.2020)

**Прогнози і статистичні дані та оцінки прогнозу показників  
летальності та індикатору прогресу в Україні**

Fig. 2. Forecasts. Statistics, Forecast error estimates: Ukraine (II)

Date	I <sub>TC</sub>				I <sub>CC</sub>				IP			
	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	Forecast	Statistics	MAE	MAPE
21.05.2020	2,98%	2,94%	0,04%	1,45%	8,39%	8,51%	0,12%	1,40%	35,63%	34,54%	1,09%	3,16%
22.05.2020	3,02%	2,92%	0,10%	3,47%	8,19%	8,20%	0,01%	0,11%	36,96%	35,60%	1,36%	3,81%
23.05.2020	3,04%	2,94%	0,10%	3,36%	7,95%	8,03%	0,08%	0,96%	38,25%	36,61%	1,65%	4,50%
24.05.2020	3,08%	2,94%	0,14%	4,71%	7,81%	7,99%	0,18%	2,25%	39,47%	36,81%	2,66%	7,21%
25.05.2020	3,12%	2,93%	0,18%	6,30%	7,70%	7,93%	0,22%	2,83%	40,48%	36,98%	3,50%	9,46%
26.05.2020	3,15%	2,98%	0,17%	5,72%	7,61%	7,84%	0,23%	2,90%	41,48%	38,08%	3,41%	8,94%
27.05.2020	3,18%	3,00%	0,17%	5,71%	7,45%	7,60%	0,15%	1,97%	42,64%	39,50%	3,14%	7,94%
28.05.2020	3,21%	2,99%	0,23%	7,56%	7,33%	7,35%	0,01%	0,16%	43,90%	40,69%	3,21%	7,88%
29.05.2020	3,25%	2,98%	0,28%	9,29%	7,21%	7,06%	0,15%	2,10%	45,17%	42,14%	3,03%	7,18%
30.05.2020	3,29%	3,00%	0,29%	9,68%	7,09%	6,96%	0,13%	1,92%	46,45%	43,13%	3,33%	7,71%
31.05.2020	3,31%	2,99%	0,32%	10,77%	6,96%	6,91%	0,05%	0,65%	47,65%	43,28%	4,37%	10,10%
01.06.2020	3,35%	2,99%	0,36%	12,05%	6,88%	6,90%	0,02%	0,28%	48,73%	43,34%	5,38%	12,42%
02.06.2020	3,39%	2,99%	0,40%	13,42%	6,80%	6,73%	0,07%	1,11%	49,83%	44,39%	5,44%	12,25%
03.06.2020	3,42%	2,96%	0,46%	15,66%	6,71%	6,58%	0,13%	1,94%	51,12%	45,02%	6,10%	13,55%
<b>MAE*/MAPE*</b>			<b>0,23%</b>	<b>7,80%</b>			<b>0,11%</b>	<b>1,47%</b>			<b>3,40%</b>	<b>8,29%</b>

(\*) for the whole forecast (21.05-03.06.2020)

У табл. 1 вказано розрахункові і фактичні значення основних показників епідемії коронавірусу COVID-19 в Україні за 14 днів прогнозного періоду, абсолютна і відносна похибки добових прогнозів, а також середня абсолютна помилка MAE і середня абсолютна помилка у відсотках MAPE 14-денного прогнозу в цілому.

У табл. 2 приведені ті ж дані за коефіцієнтами летальності I<sub>TC</sub>, I<sub>CC</sub> та індикатору прогресу IP.

Дані цих таблиць, включаючи оцінки похибок, свідчать про те, що прогноз загальної кількості інфікованих виявився більш оптимістичним. Незважаючи на досить високе значення критерію MAPE (5,76%), це змушує шукати причини такої розбіжності фактичних і розрахункових даних.

Відповіді можна знайти у всіх наших останніх статистичних моніторах в секції, що присвячена аналізу фактичних даних, а також в наведених нижче діаграмах (див. рис. 3-15).

На рис. 3-6 вказано:

- фактичні траєкторії основних показників епідемії коронавірусу в Україні;
- розрахункові траєкторії цих показників;
- границі довірчих інтервалів (діапазонів можливих відхилень точкового 10-ти денного прогнозу (на період з 21 травня по 30 травня) з рівнем значущості  $p = 0,01$ ).

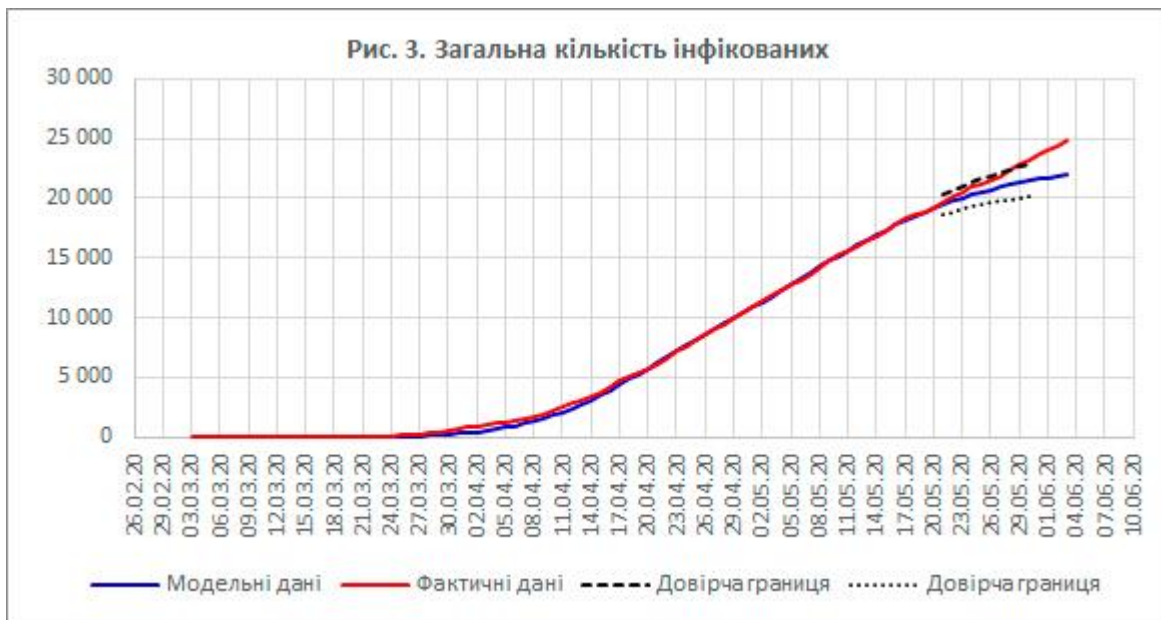


Рис. 3. Фактична та розрахункова траєкторії загальної кількості інфікованих та довірчий інтервал прогнозу на 10-денний прогнозний період

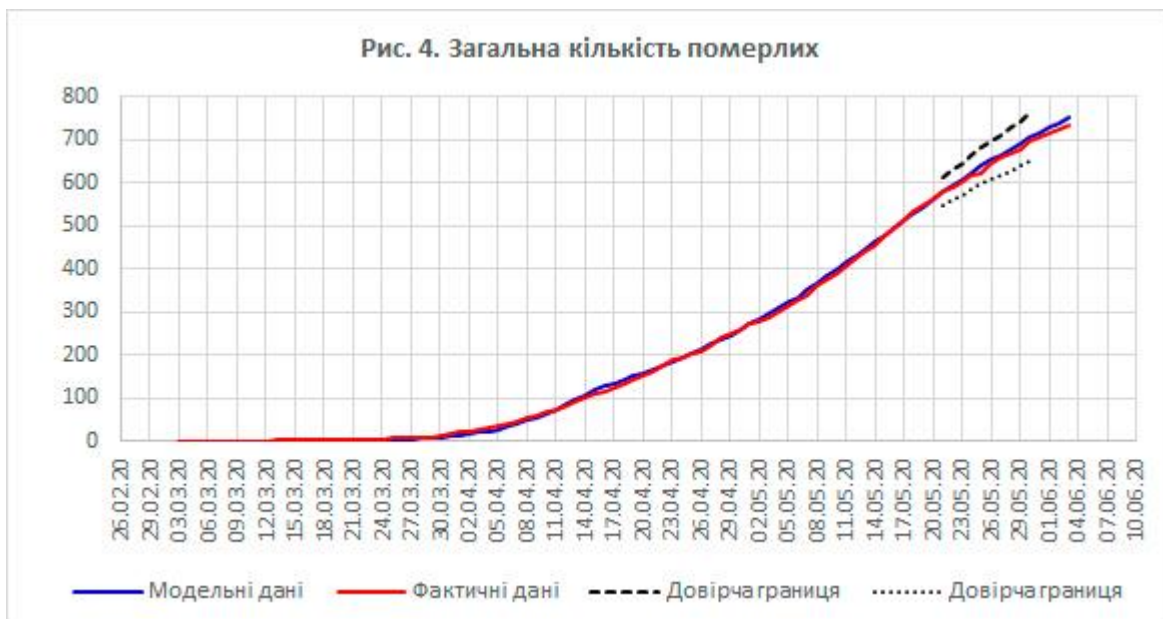


Рис. 4. Фактична та розрахункова траєкторії загальної кількості померлих та довірчий інтервал прогнозу на 10-денний прогнозний період



Рис. 5. Фактична та розрахункова траєкторії загальної кількості вилікуваних та довірчий інтервал прогнозу на 10-денний прогнозний період

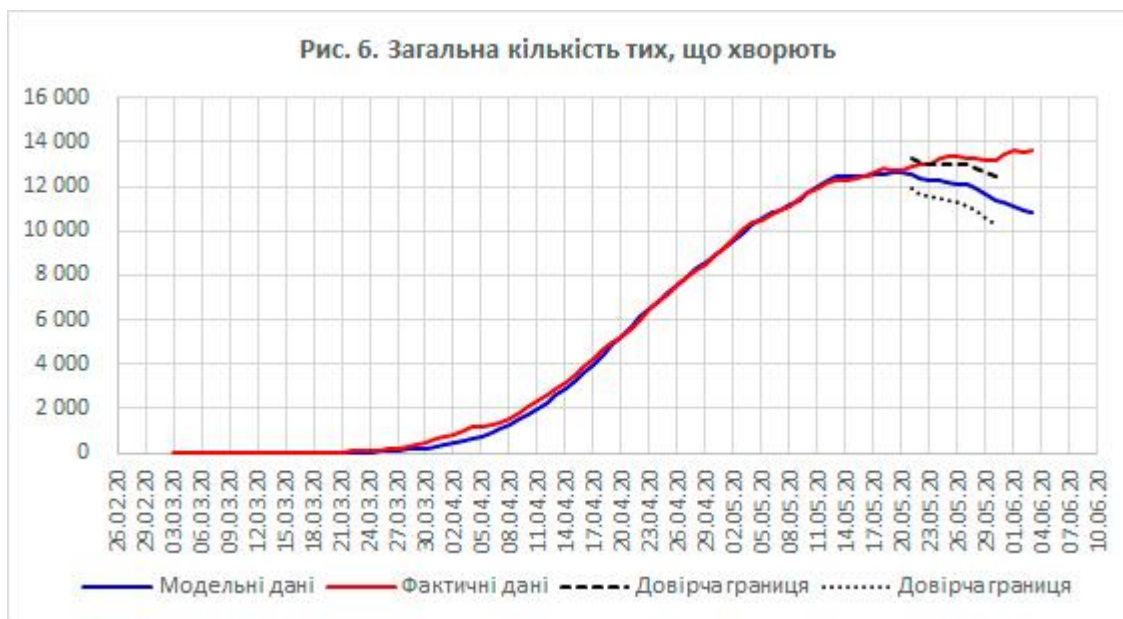


Рис. 6. Фактична та розрахункова траєкторії загальної кількості тих, що хворіють, на 10-денний прогнозний період

Діаграми рис. 7, 8 вказують на значення загального числа інфікованих і померлих на момент досягнення епідемією коронавіруса в Україні рівня прогресу (показник  $IP$ ) 72,97% (див. значення індикатора прогресу на рис. 15).

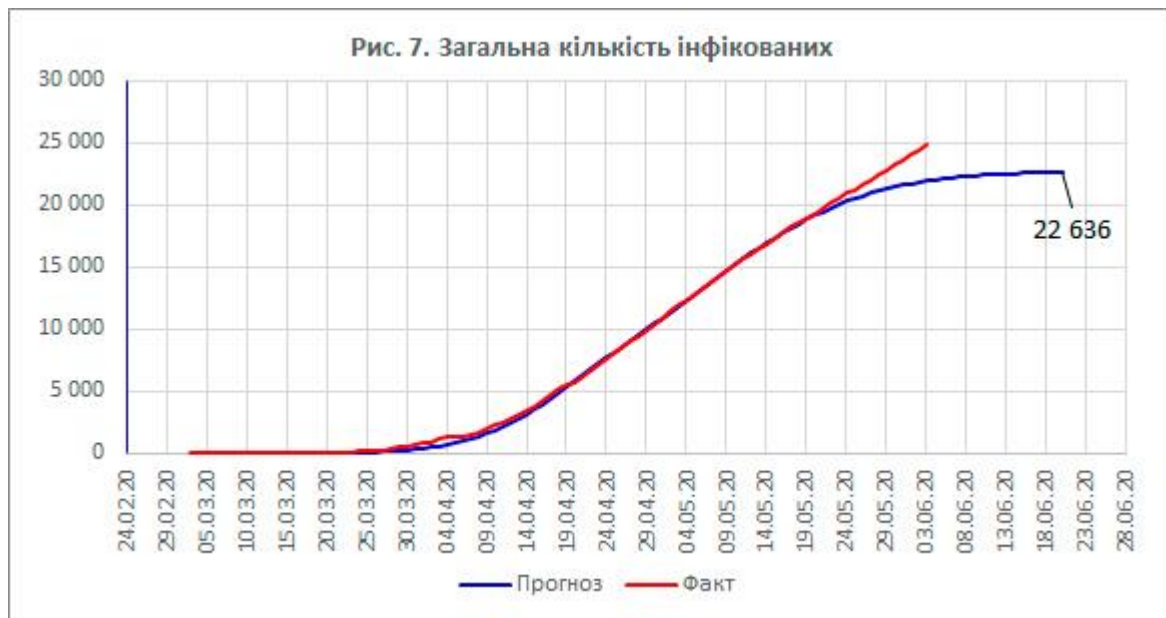


Рис. 7. Фактична та розрахункова траєкторії загальної кількості померлих на штатний 30-денний прогностичний період



Рис. 8. Фактична та розрахункова траєкторії загальної кількості померлих на 14-денний прогностичний період

Діаграми на рис. 9-12 відображають:

- фактичні траєкторії зміни добових показників епідемії коронавіруса в Україні;
- розрахункові траєкторії цих показників на весь період спостережень, включаючи прогностичний (10 днів) і пост прогностичний періоди;
- границі довірчих інтервалів ( $p = 0,3$ ), відповідних прогнозом на 10 днів (на період з 21-го по 30-е травня 2020 г.).



Рис. 9. Фактична та розрахункова траєкторії добової кількості нових випадків інфікування та довірчий інтервал штатного 10-денного прогнозу

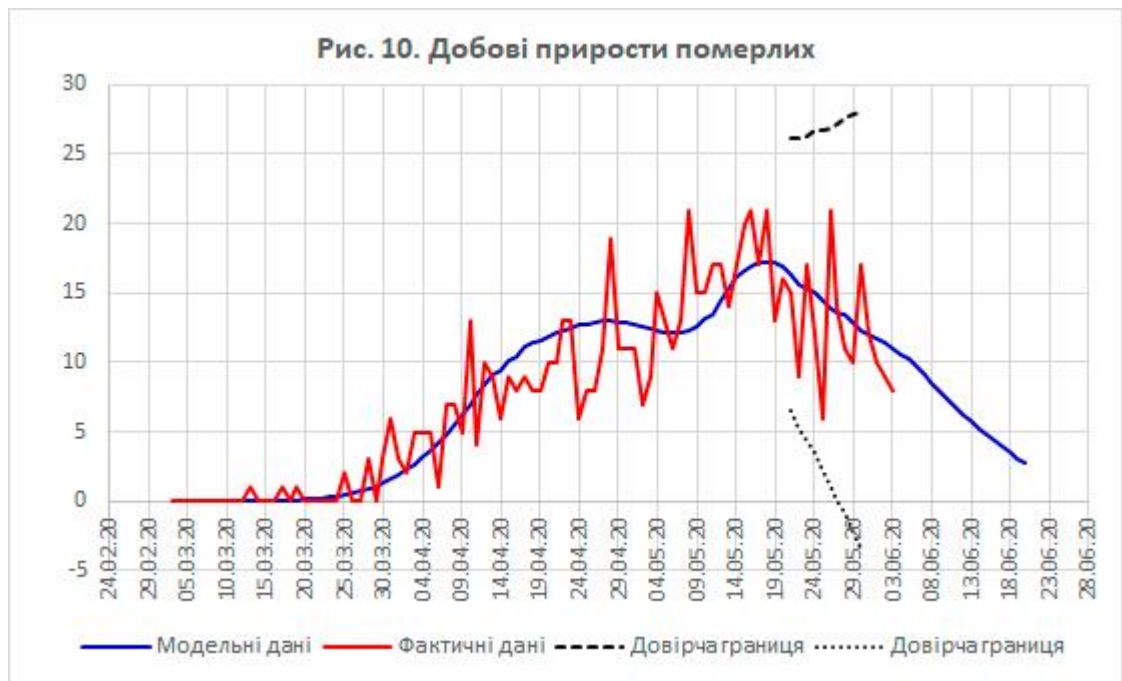


Рис. 10. Фактична та розрахункова траєкторії добової кількості летальних випадків та довірчий інтервал штатного 10-денного прогнозу





Рис. 11. Фактична та розрахункова траєкторії добової кількості вилікуваних та довірчий інтервал штатного 10-денного прогнозу.

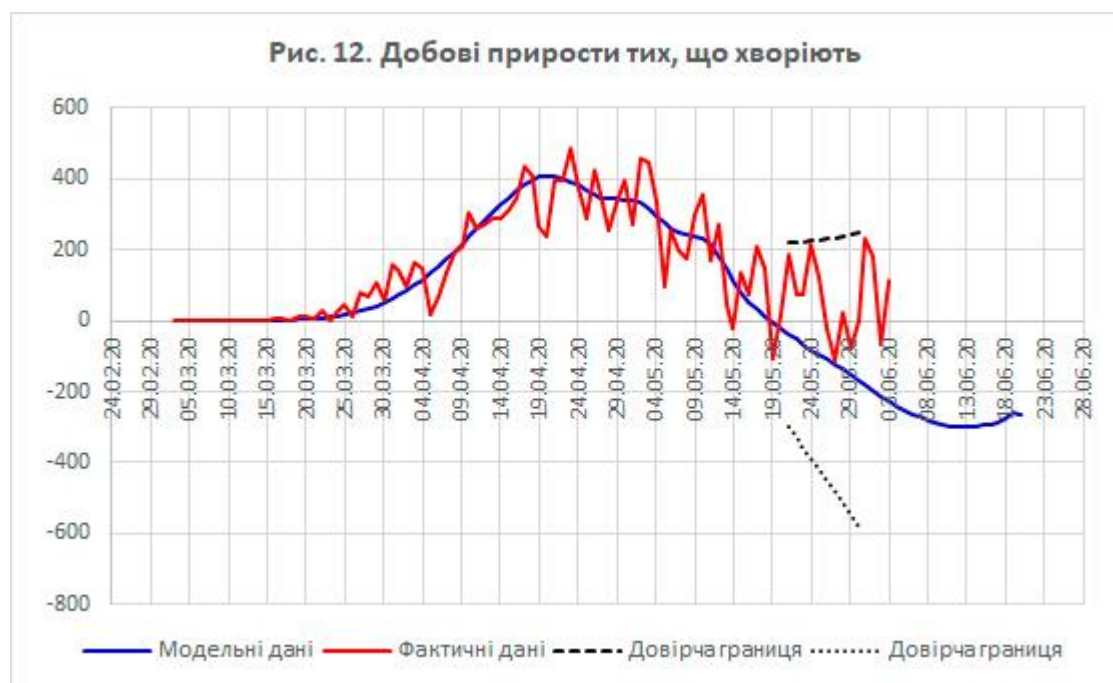


Рис. 12. Фактична та розрахункова траєкторії добової кількості тих, що хворіють, та довірчий інтервал штатного 10-денного прогнозу.

Відзначимо, що добові показники в силу їх значної варіабельності, обумовленої складністю прогнозованих процесів, є виключно важкий для прогнозування об'єкт. Це пояснює і широкі довірчі інтервали прогнозів зазначених показників, і порівняно високу ймовірність похибки прогнозів.

На діаграмі рис. 3 чітко видно, що протягом прогнозного періоду в Україні зросла кількість інфікованих, перевищивши прогнозні значення. При цьому траєкторія значень цього показника, починаючи з другої декади квітня, практично перетворилася в пряму лінію. Це можливо тільки в тому випадку, коли ступінь протидії епідемії (коефіцієнт поширення

інфекції) недостатньо швидко знижується, щоб переломити хід розвитку епідемії і перевести динаміку даного показника в класичну форму, що описується S-подібною кривою.

Нагадаємо, що основний принцип прогнозування, на якому будуються наші прогнози, полягає в максимально повному "витягу" тенденцій, що склалися, з наявної на момент складання прогнозу статистики та екстраполяції цих тенденцій на майбутнє. Відхилення фактичних даних від прогнозу означає, що в зазначених тенденціях намічаються зміни. Спостережувані на рис. 3 і рис. 6 (як наслідок тенденції, відображеної на рис. 3), рис. 7, а також рис. 9 і рис. 12 (як наслідок тенденцій рис. 9) зміни свідчать про їхній негативний характер. Основним кандидатом на головну причину цього виступає, на наше переконання, крім недостатньо суворого дотримання карантину, заходи щодо послаблення його умов.

Підтвердженням цьому служать й графіки на інших рисунках (див. рис. 2 і 3, рис. 8, 10 і 11). Траєкторії тих показників, на значення яких заходи щодо ослаблення карантину та й ступінь дотримання самого карантину надають непрямий, віддалений у часі вплив, строго слідували за розрахунковими, тобто відповідно до фундаментальних теоретичних законів, що відбиті в моделі епідемії коронавірусу.

Як наслідок, прогноз загального числа інфікованих на кінець довгострокового періоду прогнозування (див. рис. 7) однозначно буде перевищено. Високо ймовірно в перспективі і спростування прогнозу за загальною кількістю летальних випадків (рис. 8), що на діаграмі цього рисунка ще не знайшло відображення в силу наявності часового лага між зростанням числа інфікованих і зростанням числа померлих, що виходить за межі прогнозного періоду.

Як можна бачити (див. рис. 9-13), незважаючи на більш швидке, ніж прогнозувалося, зростання числа інфікованих, фактичні значення добових показників все ж залишилися в межах довірчих інтервалів.

Діаграми рис. 13-15 відображають такі параметри епідемії коронавірусу в Україні:  
– фактичні траєкторії показників летальності  $I_{TC}$  і  $I_{CC}$  та індикатора прогресу  $IP$  за весь період спостережень (до 03 червня 2020 року включно), включаючи 14-денний прогнозний період;  
– розрахункові траєкторії зазначених показників за цей період.

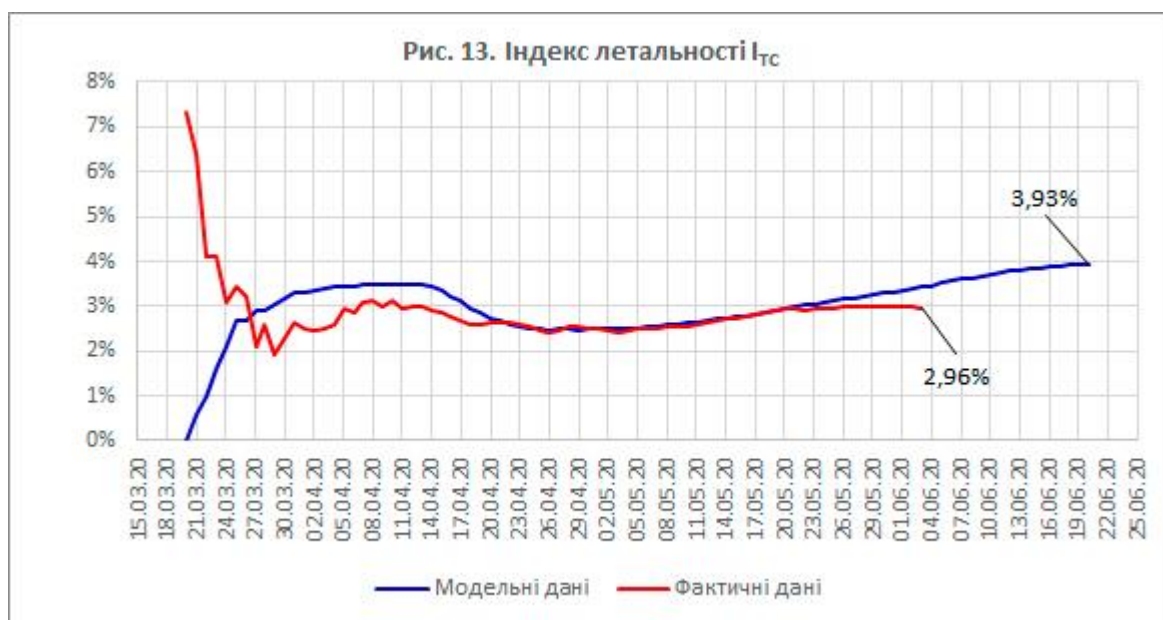


Рис. 13. Фактична та розрахункова траєкторії значень індексу летальності  $I_{TC}$  на штатний 30-денний прогнозний період

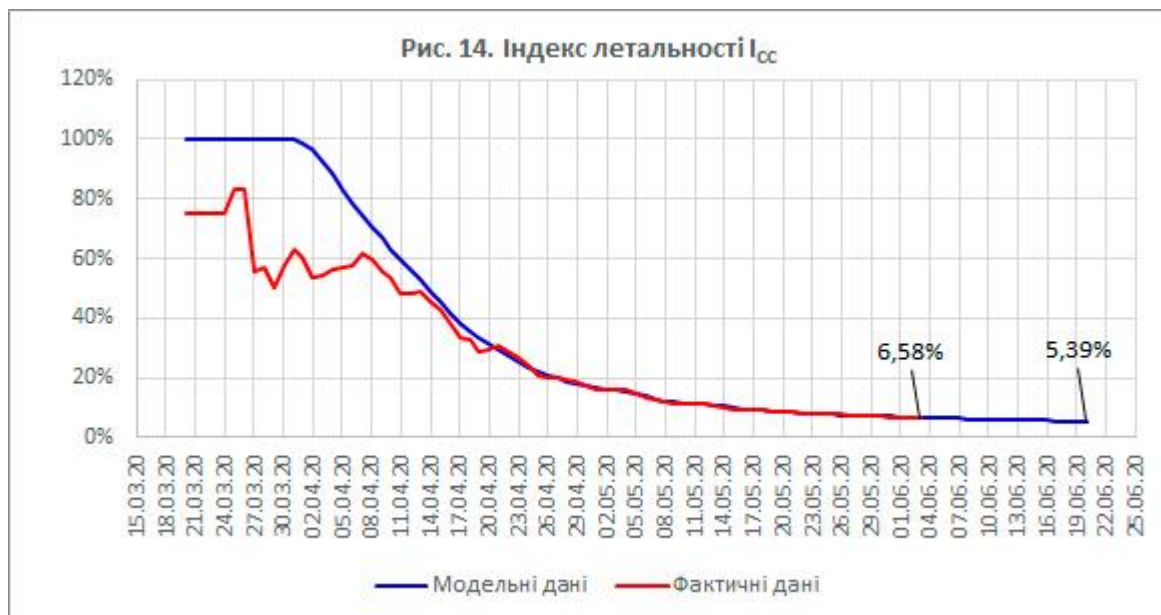


Рис. 14. Фактична та розрахункова траєкторії значень індексу летальності  $I_{cc}$  на штатний 30-денний прогностичний період

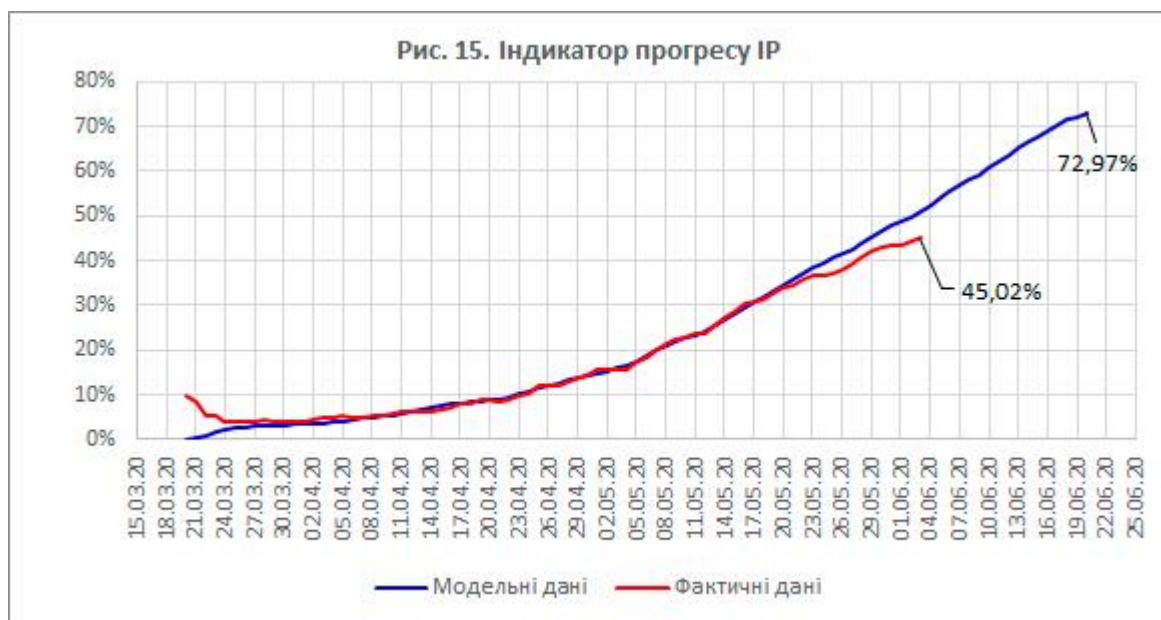


Рис. 15. Фактична та розрахункова траєкторії значень індикатора прогресу IP на штатний 30-денний прогностичний період

З графіків рис. 13-15, з урахуванням викладеного вище, витікає, що точність відтворення моделлю фактичних значень показників летальності і індикатора прогресу, а також точність прогнозу зазначених показників досить високі, а їх відхилення від розрахункових значень обумовлено єдиним фактором – перевищенням відносно прогностичного рівня зростанням числа інфікованих.

На підставі усього вищевикладеного можна стверджувати, що в процесі розвитку епідемії коронавірусу COVID-19 в Україні намічаються несприятливі тенденції, що обумовлені, ймовірно, ослабленням зусиль з її стримування. Збереження і/або посилення таких тенденцій може призвести до збільшення загальної кількості хворих, навантаження на медичні установи, значного зростання тривалості життєвого циклу епідемії і, як наслідок, більш

високої ймовірності зараження громадян з груп ризику, збільшення загальної кількості летальних випадків.

Джерела статистичних даних:

<https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries>

<https://www.pravda.com.ua/cdn/covid-19/cpa/>

Наші матеріали також:

<https://www.facebook.com/MATHMODELCOVID19>

<https://t.me/mathmodelcovid19>

<https://medium.com/@impeerecon>

Наші ініціативна група та місія:

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/117804769862427>

Публікації про показники летальності та індикатор прогресу

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/105684827741088>

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/106831140959790>

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/107444734231764>