

Математична модель і прогноз епідемії коронавірусу COVID-19 в Україні (M2)

(О.Б. Альохін, Б.В. Буркинський, О.М. Грабовий, В.О. Діленко, Н.І. Хумарова)

Обов'язковою умовою розробки прогнозу розвитку епідемії COVID-19 в Україні Робочою Групою при ШПРЕД НАН України є аналіз точності попереднього прогнозу з використанням загальноприйнятих критеріїв.

Результати оцінювання точності прогнозу розвитку епідемії COVID-19 в Україні, складеного за статистичними даними по 18-вересня включно на період з 19-го по 28-е вересня і опублікованого 18-го вересня 2020 р. (<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/181838416792395>) наведені в табл. 1-2 та рис. 1-13.

В табл. 1 вказані:

- розрахункові і фактичні значення основних показників епідемії COVID-19 в Україні за весь період спостережень;
- абсолютна і відносна похибки добових прогнозів;
- середня абсолютна помилка MAE і середня абсолютна помилка у відсотках MAPE, включаючи оцінку MAPE * наростаючим підсумком

В табл. 2 наведені ті ж самі дані для коефіцієнтів летальності I(TC), I(CC) та індикатора прогресу IP.

Середні абсолютні помилки у відсотках (оцінки MAPE *) 10-денного прогнозу для основних показників епідемії знаходяться на такому рівні (табл. 1):

- загальна кількість інфікованих - 0,18%;
- загальна кількість померлих - 1,85%;
- загальна кількість тих, хто видужали - 0,45%;
- число активних випадків - 0,18%.

Table 1. Forecasts, Statistics, Forecast error estimates, Ukraine

Date	Total Cases					Deaths					Recovered					Active Cases				
	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	MAPE*	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	MAPE*	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	MAPE*	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	MAPE*
09.09.2020	172 461	172 712	251	0,15%	0,15%	3 528	3 516	12	0,34%	0,34%	76 657	76 754	97	0,13%	0,13%	92 276	92 442	166	0,18%	0,18%
10.09.2020	175 375	175 678	303	0,17%	0,16%	3 589	3 557	32	0,90%	0,62%	77 648	77 512	136	0,18%	0,15%	94 138	94 609	471	0,50%	0,34%
11.09.2020	178 361	178 353	8	0,00%	0,11%	3 651	3 583	68	1,90%	1,05%	78 772	78 184	588	0,75%	0,35%	95 938	96 586	648	0,67%	0,45%
12.09.2020	181 424	181 237	187	0,10%	0,11%	3 714	3 642	72	1,98%	1,28%	80 084	79 901	183	0,23%	0,32%	97 626	97 694	68	0,07%	0,35%
13.09.2020	184 657	184 734	77	0,04%	0,09%	3 778	3 705	73	1,97%	1,42%	81 598	81 670	72	0,09%	0,27%	99 281	99 359	78	0,08%	0,30%
14.09.2020	187 944	188 106	162	0,09%	0,09%	3 843	3 757	86	2,29%	1,56%	83 182	83 458	276	0,33%	0,28%	100 919	100 891	28	0,03%	0,25%
15.09.2020	191 236	191 671	435	0,23%	0,11%	3 909	3 827	82	2,14%	1,65%	84 629	85 133	504	0,59%	0,33%	102 698	102 711	13	0,01%	0,22%
16.09.2020	194 528	195 504	976	0,50%	0,16%	3 976	3 903	73	1,87%	1,67%	85 907	86 873	966	1,11%	0,43%	104 645	104 728	83	0,08%	0,20%
17.09.2020	197 828	198 634	806	0,41%	0,19%	4 044	3 959	85	2,15%	1,73%	87 092	87 882	790	0,90%	0,48%	106 692	106 793	101	0,09%	0,19%
18.09.2020	201 141	201 305	164	0,08%	0,18%	4 113	3 996	117	2,93%	1,85%	88 288	88 453	165	0,19%	0,45%	108 740	108 856	116	0,11%	0,18%
MAE*/MAPE*			337		0,18%			70		1,85%			378		0,45%			177		0,18%

(*) for the whole forecast (19-28.09.2020)

Похибки прогнозування найважливіших похідних показників епідемії коронавірусу в Україні (оцінки MAPE *), як показано в табл. 2, наступні:

- показник летальності I (TC) - 2,00%;

- показник летальності І (CC) - 1,98%;
- індикатор прогресу ІР - 0,27%.

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

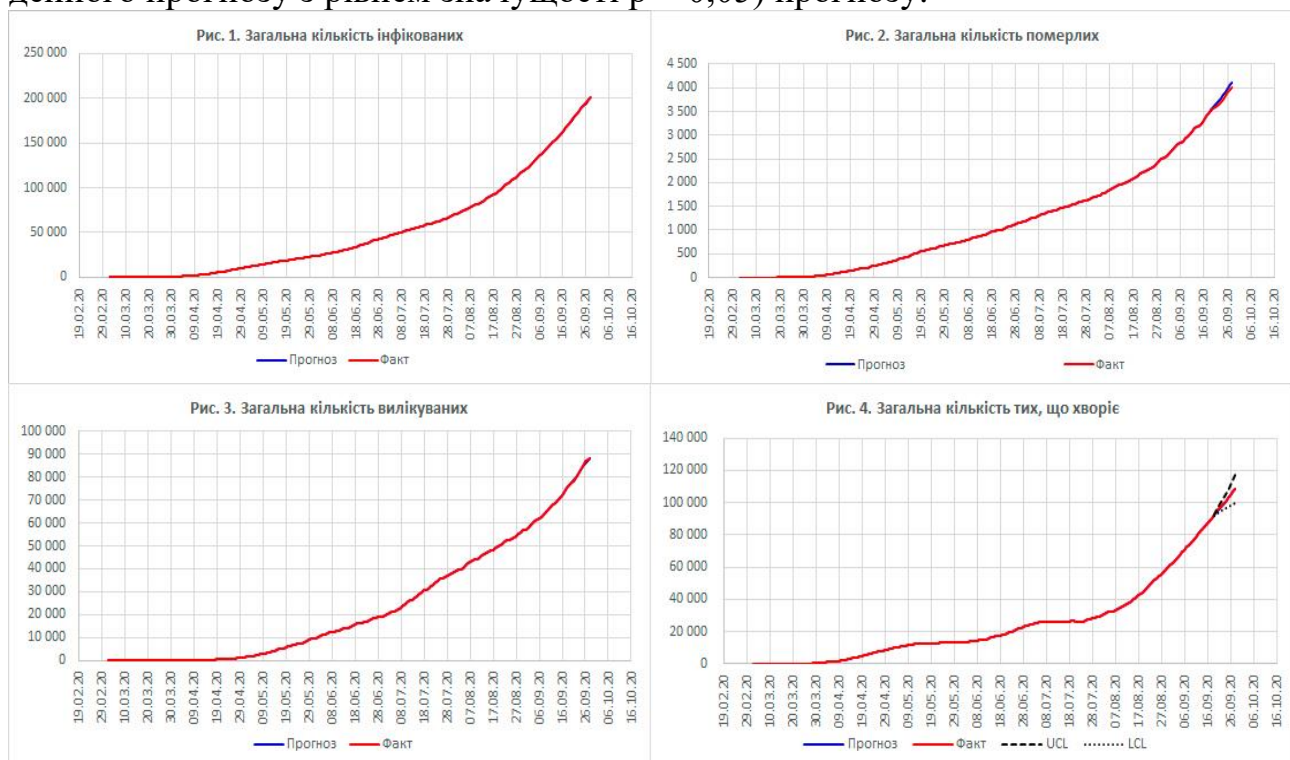
Date	I _{TC}					I _{CC}					IP				
	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	MAPE*	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	MAPE*	Forecast	Statistics	MAE	MAPE	MAPE*
09.09.2020	2,05%	2,04%	0,01%	0,49%	0,49%	4,40%	4,38%	0,02%	0,45%	0,45%	46,49%	46,48%	0,02%	0,04%	0,04%
10.09.2020	2,05%	2,02%	0,02%	1,07%	0,78%	4,42%	4,39%	0,03%	0,69%	0,57%	46,32%	46,15%	0,18%	0,38%	0,21%
11.09.2020	2,05%	2,01%	0,04%	1,89%	1,15%	4,43%	4,38%	0,05%	1,09%	0,74%	46,21%	45,85%	0,37%	0,80%	0,41%
12.09.2020	2,05%	2,01%	0,04%	1,87%	1,33%	4,43%	4,36%	0,07%	1,67%	0,97%	46,19%	46,10%	0,09%	0,20%	0,35%
13.09.2020	2,05%	2,01%	0,04%	2,01%	1,47%	4,43%	4,34%	0,09%	1,97%	1,17%	46,23%	46,22%	0,02%	0,04%	0,29%
14.09.2020	2,04%	2,00%	0,05%	2,38%	1,62%	4,42%	4,31%	0,11%	2,51%	1,40%	46,30%	46,36%	0,06%	0,13%	0,27%
15.09.2020	2,04%	2,00%	0,05%	2,38%	1,73%	4,42%	4,30%	0,11%	2,63%	1,57%	46,30%	46,41%	0,12%	0,25%	0,26%
16.09.2020	2,04%	2,00%	0,05%	2,38%	1,81%	4,42%	4,30%	0,12%	2,88%	1,74%	46,21%	46,43%	0,23%	0,49%	0,29%
17.09.2020	2,04%	1,99%	0,05%	2,56%	1,89%	4,44%	4,31%	0,13%	2,94%	1,87%	46,07%	46,24%	0,17%	0,36%	0,30%
18.09.2020	2,04%	1,99%	0,06%	3,01%	2,00%	4,45%	4,32%	0,13%	2,98%	1,98%	45,94%	45,92%	0,01%	0,03%	0,27%
MAE*/MAPE*			0,04%		2,00%			0,09%		1,98%			0,13%		0,27%

(* for the whole forecast (19-28.09.2020))

Ступінь відповідності фактичних і розрахункових даних ілюструють діаграми рис. 1-13. На всіх графіках червоним кольором відображені траєкторії фактичних значень прогнозованих показників за весь період спостережень, темно-синім кольором відображені прогнозні траєкторії цих же показників на 10-денному прогнозному періоді.

На рис. 1-4 наведені:

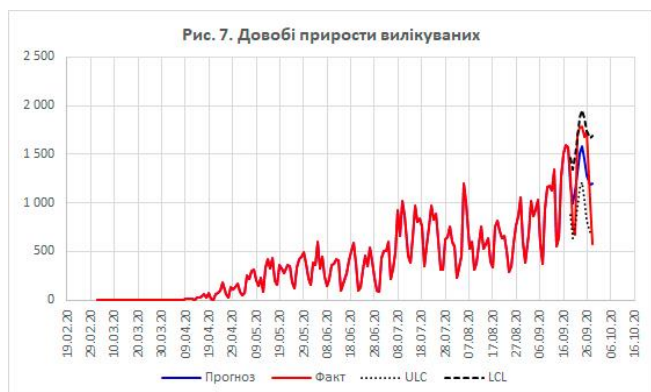
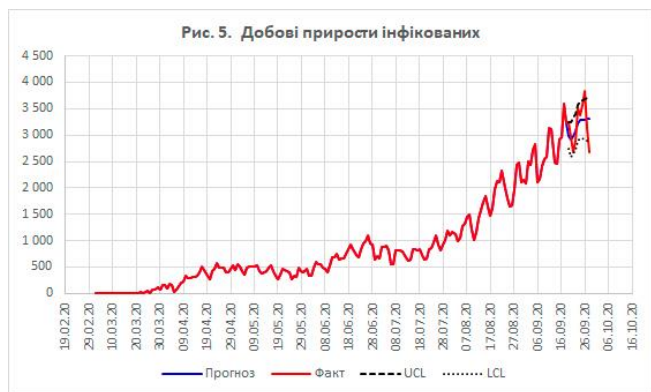
- фактичні траєкторії основних показників епідемії коронавірусу в Україні за весь період спостережень, включаючи 10-денний прогнозний період;
- розрахункові траєкторії цих показників на 10-денний прогнозний період;
- межі довірчих інтервалів (діапазонів можливих відхилень точкового 10-денного прогнозу з рівнем значущості $p = 0,05$) прогнозу.



На діаграмах рис. 1-3 довірчі інтервали скриті внаслідок їх накладання на графіки основних показників.

Діаграми рис. 5-8 відображають:

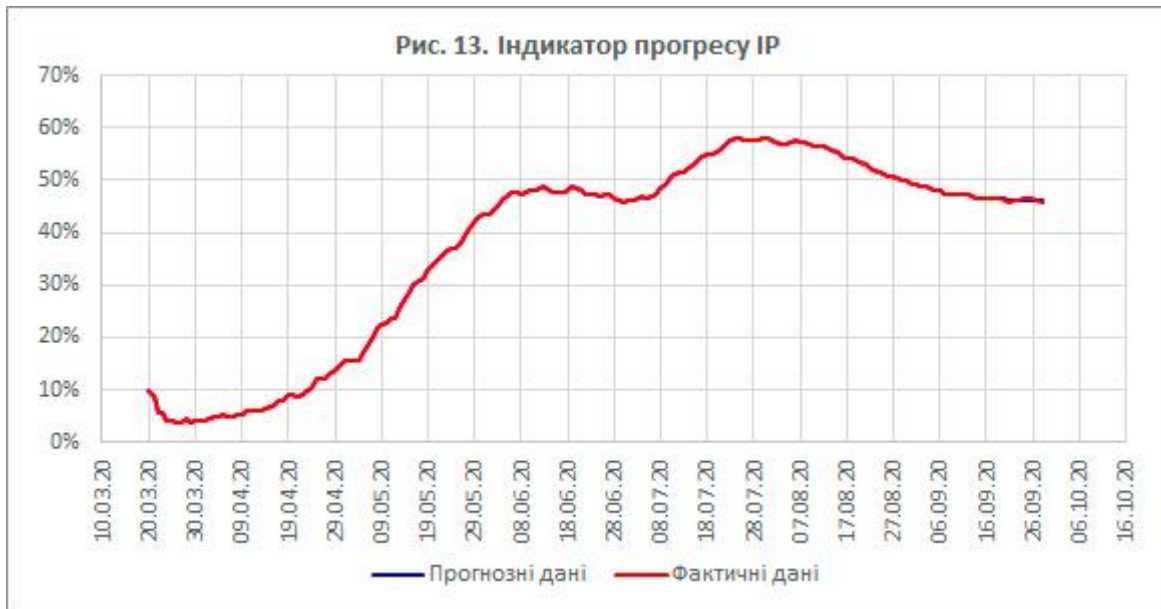
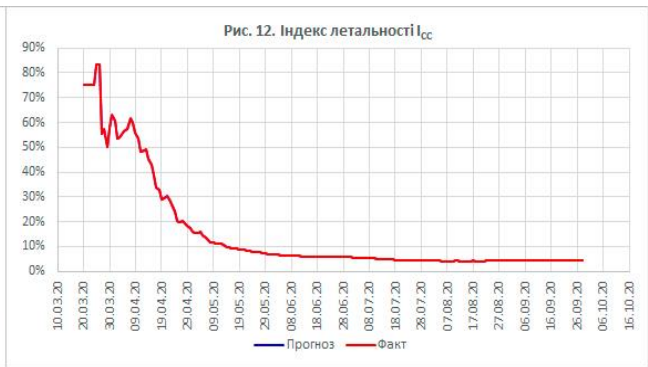
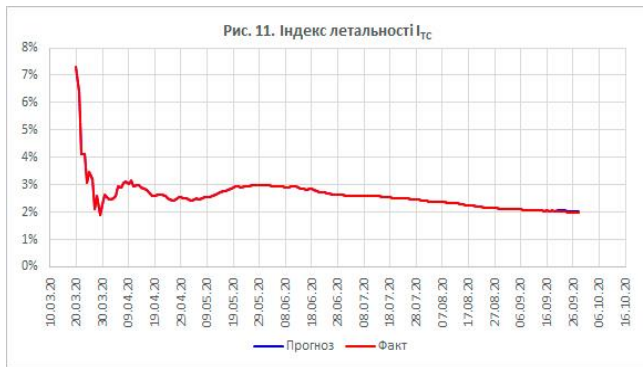
- фактичні траєкторії зміни добових показників епідемії коронавірусу в Україні за весь період спостережень, включаючи прогностичний період;
- розрахункові траєкторії цих показників на 10-денний прогностичний період;
- межі довірчих інтервалів ($p = 0,05$), які відповідають 10-денному прогнозу.



На діаграмах рис. 9-13 відображені:

- фактичні траєкторії показників статистичного репродуктивного числа SR_0 і середнього абсолютного (добового) приросту інфікованих на весь період спостережень, включаючи прогностичний період;
- фактичні траєкторії цих показників за той же період;
- розрахункові траєкторії зазначених показників на весь прогностичний період.





Наведені вище кількісні оцінки і діаграми дозволяють зробити наступні висновки.

Епідемія COVID-19 в Україні продовжує перебувати в активній фазі, забезпечуючи прискорене зростання числа інфікованих та померлих (рис. 1-2, рис. 5-6).

За минулу декаду зростання загальної кількості померлих і тих, хто видужали, дещо сповільнилося в порівнянні з передпрогнозним періодом (рис. 2 і рис. 6). При цьому добовий приріст цього показника продемонстрував аномально велику варіабельність (рис. 6).

Добовий приріст тих, хто видужали, (рис. 7) також проявив високу варіабельність. Така синхронність в поведінці зазначених показників спостерігається в багатьох країнах світу в період спалахів поширення інфекції.

Наслідком синхронності зазначених процесів став високий рівень стабільності негативної тенденції зростання і прогнозованості числа активних випадків (рис. 4 і рис. 8).

Динаміка статистичного репродуктивного числа SR_0 (рис. 9) і середнього абсолютного приросту числа інфікованих (рис. 10) також свідчить про наростання темпів поширення інфекції в Україні.

Показник летальності I (ТС) має негативну знижувальну тенденцію під впливом високих темпів зростання числа інфікованих (рис. 11). Показник летальності I (СС) непослідовно і надзвичайно повільно знижується, що також є негативним чинником. Всупереч заявам представників МОЗ України рівень летальності від COVID-19 (показник I (СС)) в Україні перевищує середньосвітовий рівень.

Динаміка індикатора прогресу IP (рис. 13) наочно демонструє масштаби регресу з точки зору просування епідемії до завершальної фази. Більш швидкому падінню його рівня перешкоджає порівняно високі темпи одужання хворих. У той же час індикатором загасання епідемії може служити тільки зниження числа нових інфікованих.

Високоточне прогнозування основних показників епідемії COVID-19 в Україні свідчить про збереження негативних закономірностей поширення коронавірусу і розвитку епідемії в цілому, а також нездатність суспільства ефективно протистояти коронавірусу.

Цей висновок підтверджує черговий прогноз розвитку епідемії COVID-19 в Україні на період з 19-го по 28-е вересня 2020 р який складений на основі статистичних даних по сьогоднішній день включно. Результати прогнозних розрахунків наведені в табл. 3 і на діаграмах рис. 1F-13F.

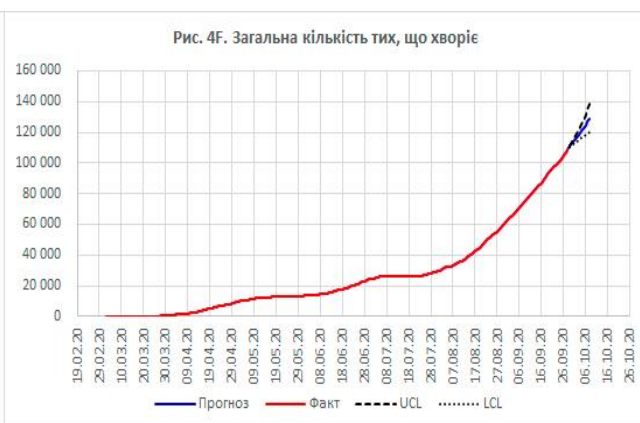
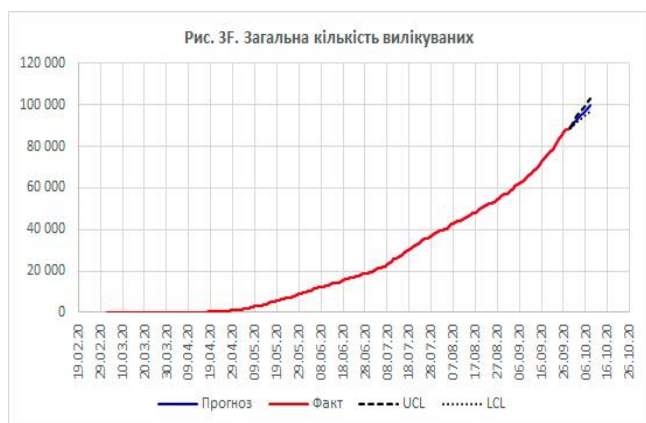
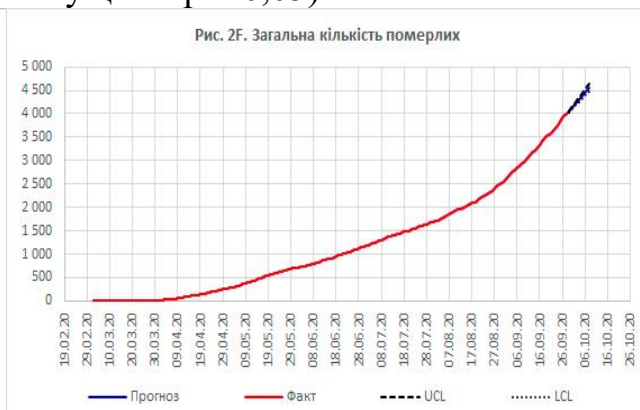
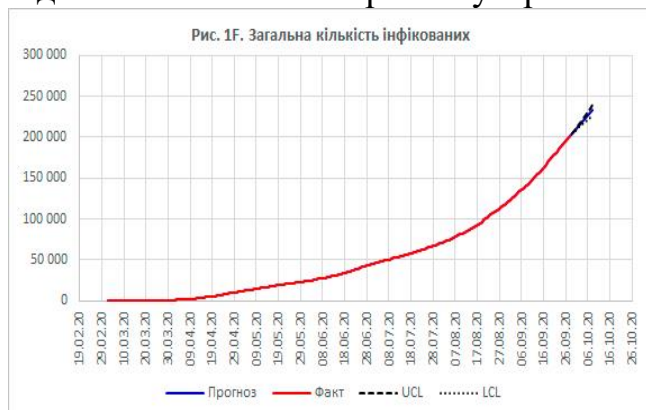
Таблиця 3

**Прогноз основних показників епідемії COVID-19 в Україні
на період з 29 вересня до 8 жовтня 2020 р.**

Дата	Загальна кількість інфікованих, тис. осіб	Загальна кількість померлих, тис. осіб	Кількість тих, хто одужав, тис. осіб
29.09.2020	204,2 ± 0,34	4,05 ± 14	89,2 ± 0,34
30.09.2020	207,3 ± 0,76	4,11 ± 23	90,3 ± 0,75
01.10.2020	210,5 ± 1,27	4,17 ± 31	91,4 ± 1,14
02.10.2020	213,7 ± 1,85	4,22 ± 38	92,7 ± 1,48
03.10.2020	216,9 ± 2,51	4,28 ± 45	94,0 ± 1,76
04.10.2020	220,1 ± 2,23	4,34 ± 52	95,2 ± 1,98
05.10.2020	223,3 ± 4,00	4,39 ± 60	96,3 ± 2,23
06.10.2020	226,6 ± 4,83	4,45 ± 67	97,4 ± 2,52
07.10.2020	229,9 ± 5,71	4,51 ± 75	98,5 ± 2,86
08.10.2020	233,1 ± 6,54	45,7 ± 83	99,7 ± 3,20

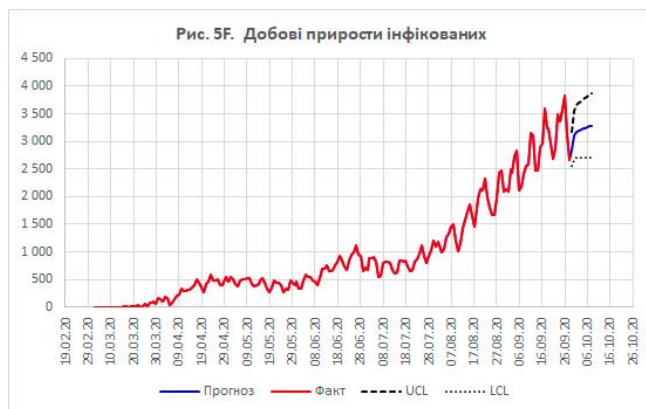
На діаграмах рис. 1F-4F вказані:

- фактичні траєкторії основних показників епідемії COVID-19 в Україні за весь період спостережень;
- розрахункові траєкторії цих показників на період попередження в 10 днів;
- межі (верхня UCL, нижня LCL) довірчих інтервалів (діапазонів можливих відхилень точкового прогнозу з рівнем значущості $p = 0,05$).



На діаграмах рис. 5F-8F наведені:

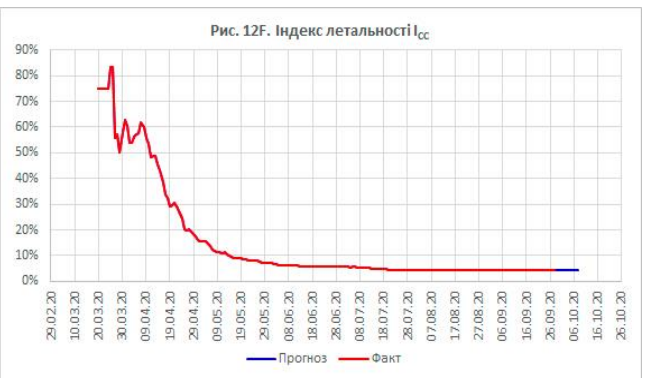
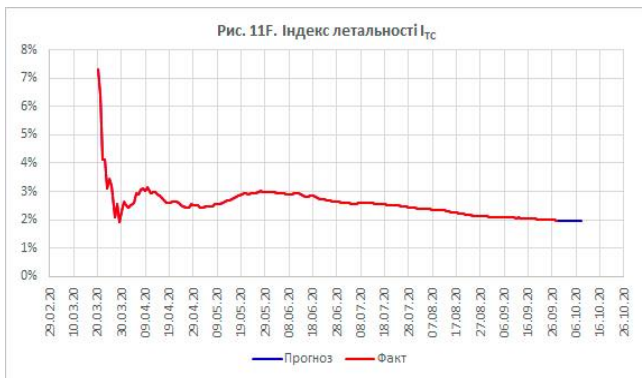
- фактичні траєкторії зміни добових показників епідемії COVID-19 в Україні за весь період спостережень;
- розрахункові траєкторії цих показників на період прогнозування;
- межі довірчих інтервалів прогнозу ($p = 0,05$).

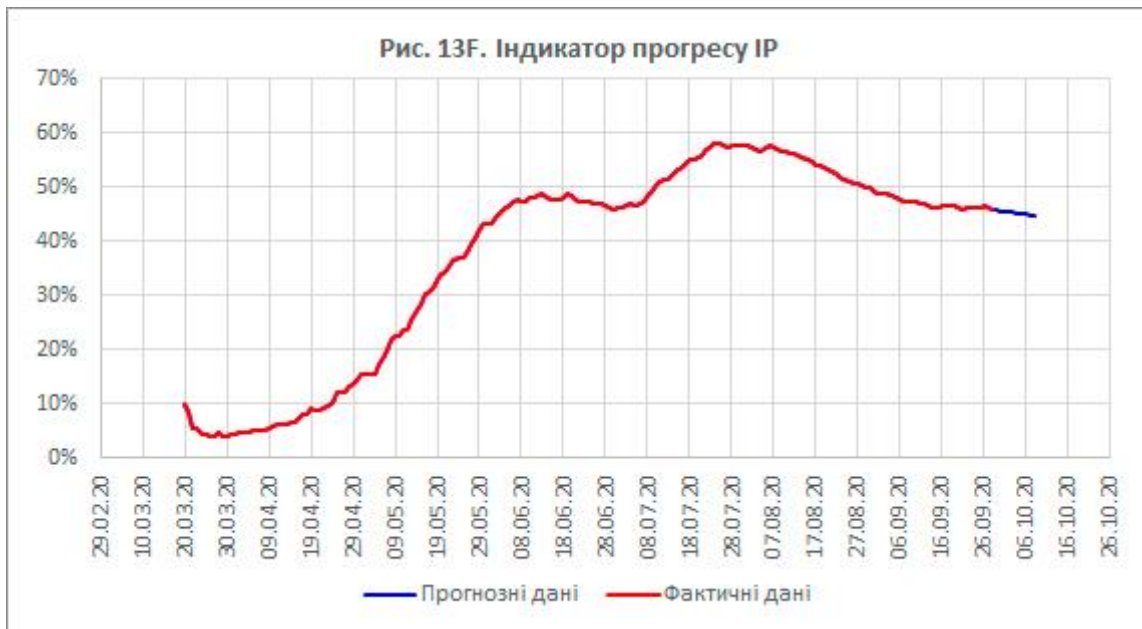




Діаграми рис. 9F-13F відображають:

- фактичні траєкторії рівня статистичного репродуктивного числа SR_0 і середнього абсолютного приросту інфікованих, а також показників летальності $I(TC)$, $I(CC)$ і індикатора прогресу IP за весь період спостережень;
- розрахункові траєкторії зазначених показників на період прогнозування.





Як впливає з наведених діаграм, прогноз передбачає деяку стабілізацію протягом прогнозного періоду добових показників (рис. 5F-8F) і, таким чином, незначне зниження темпів зростання основних накопичувальних показників (рис. 1F-4F), які не впливають на загальну оцінку прогнозованої динаміки розвитку епідемії COVID-19 в Україні як негативної.

Джерела статистичних даних:

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

<https://covid19.rnbo.gov.ua/>

Наші матеріали також:

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

<https://t.me/mathmodelcovid19>

Точність наших прогнозів:

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/154698732839697> (Німеччина)

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/142548897388014> (Іспанія)

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/150095069966730> (Італія)

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/148450556797848> (США)

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/154364292873141> (Україна)

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/144983953811175> (Франція)

<https://www.facebook.com/ab.alyokhin/posts/152284093081161> (Південна Корея)

Публікації по показникам летальності та індикатору 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>