

**Робоча група з математичного моделювання проблем, пов'язаних з епідемією
коронавірусу SARS-CoV-2 в Україні,
базова установа – Інститут проблем математичних машин і систем НАН
України**

Створена Розпорядженням Президії НАН України від 3 квітня 2020 р. № 198

**Прогноз
розвитку епідемії COVID-19 в Україні в період
23 листопада – 7 грудня 2020 р.
«Прогноз РГ-29»**

23.11.2020

З початку квітня 2020 р. міжвідомча Робоча група (РГ) представників Національної академії наук України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Національної академії медичних наук України – з урахуванням світового досвіду математичного моделювання розвитку епідемії COVID-19, на основі статистичних даних про динаміку епідемії в Україні та країнах Європи – створювала і тестувала математичну модель SEIR–U. За результатами проведеного моделювання Робоча група підготувала документи [«Прогноз розвитку епідемії коронавірусу SARS-CoV-2 в Україні»](#).

Президія НАН України офіційно представила прогнози до державних органів. На ці прогнози надавав посилання Кабінет Міністрів України під час брифінгів. Прогноз готується за підтримки Дитячого фонду ООН (ЮНІСЕФ).

У новому документі «Прогноз РГ-29»:

- здійснено аналіз первинних статистичних даних розвитку епідемії в Україні;
- порівняно статистичні дані з попереднім прогнозом [«Прогноз РГ-28»](#);
- представлено прогноз розвитку епідемії на наступний період 23 листопада – 7 грудня 2020 р. за допомогою двох незалежних моделей;
- проаналізовано динаміку поширення епідемії в регіонах України.

1. Аналіз статистичних даних щодо розвитку епідемії COVID-19 в Україні.

Робоча група використовує для аналізу такі джерела даних:

1. Дані щоденних звітів Міністерства охорони здоров'я (МОЗ) України. Дані про кількість нових виявлень, одужань, летальних випадків і підозр для кожної області України оприлюднюються на щоденних брифінгах МОЗ України, а також [на сайті Ради національної безпеки і оборони \(РНБО\) України](#).
2. Первинні дані Центру громадського здоров'я Міністерства охорони здоров'я (ЦГЗ МОЗ) України. Опис структури даних та їх інтерпретацію наведено у документі [«Прогноз РГ-9»](#) від 26.06.2020 р. Регулярний доступ до первинних даних було отримано завдяки співпраці з ЮНІСЕФ.
3. Дані щодо обсягів ПЛР- та ІФА-тестування по кожній лабораторії України. [Дані](#) надає ЦГЗ МОЗ України, вони містять інформацію про загальну кількість проведених тестів, кількість позитивних тестів і ретестувань.
4. Дані [Національної служби здоров'я України \(НСЗУ\)](#) оновлюються щодня та містять дані про госпіталізації по кожній лікарні України.
5. Дані про загальну смертність з усіх причин та дані щодо мобільності населення з ресурсу [«Економіка карантину»](#).

Частота пошуків у Google на тему «Olfaction» (нюх), що може розглядатись як випереджаючий індикатор для спостережуваних епідемічних даних, продовжила зниження (рис. 1). Водночас, число хворих та летальних продовжило зростання з різними темпами. За останні 10 днів тижневе середнє добового числа нових хворих та летальних зросло, відповідно, на 26% та 10%.

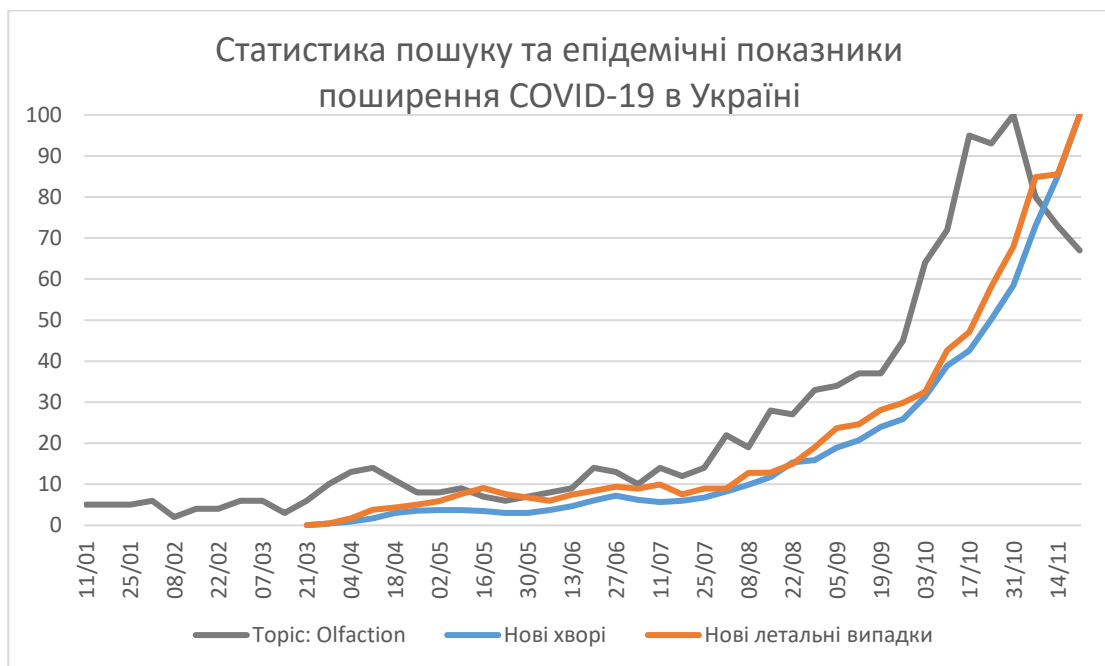


Рис. 1. Частота пошуку у Google на тему “нюх” (Topic: Olfaction, дані на 23.11.2020), тижнево усереднені число нових хворих та число нових летальних випадків. Усі дані пропорційно скориговано так, щоб максимальне значення у точності дорівнювало 100.

20 листопада Держстат України опублікував регіональні дані про загальну смертність у вересні. У табл. 1 ці дані разом з даними про інші місяці 2020 року представлено як перевищення (або менше значення у випадку від'ємних показників) числа смертей від всіх причин у відносному вираженні над середнім значенням у 2015-2019 роках.

Таблиця 1 Оцінка надлишкової смертності у регіонах за місяцями 2020 року, порівняно з середнім показником за 2015-2019 роки, дані ДССУ

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Україна	-6,2%	-2,5%	-7,2%	-5,9%	-12,6%	4,6%	3,0%	-0,5%	14,0%
Вінницька	-8,2%	-4,1%	-9,3%	-5,9%	-13,6%	4,8%	5,7%	-2,3%	12,7%
Волинська	-7,8%	-3,2%	-5,1%	-9,5%	-11,5%	13,3%	6,1%	2,8%	17,3%
Дніпропетровська	-3,6%	-2,4%	-7,3%	-5,3%	-12,5%	2,2%	-0,9%	-3,4%	10,4%
Донецька	3,0%	6,7%	-10,0%	-25,9%	-28,6%	-16,5%	-16,2%	-15,1%	-2,7%
Житомирська	-5,5%	-5,4%	-9,8%	-3,8%	-13,6%	10,6%	-0,6%	-3,4%	10,4%
Закарпатська	-7,0%	-4,2%	-3,5%	-3,9%	-6,2%	17,7%	28,5%	11,8%	19,4%
Запорізька	-2,2%	-4,8%	-6,1%	-4,5%	-13,8%	0,7%	1,4%	-7,3%	7,0%
Івано-Франківська	-10,2%	-4,9%	-5,6%	3,0%	-7,1%	11,3%	16,4%	18,3%	27,6%
Київська	-2,4%	3,6%	-4,2%	-1,3%	-5,7%	13,8%	5,6%	1,7%	20,4%
Кіровоградська	-12,8%	-5,0%	-4,0%	2,3%	-5,6%	4,6%	8,9%	-2,2%	6,1%
Луганська	3,6%	9,5%	1,1%	-20,1%	-32,2%	-17,5%	-11,5%	-3,0%	20,5%
Львівська	-7,5%	-7,9%	-7,4%	3,0%	-10,5%	12,5%	20,5%	26,0%	29,7%
Миколаївська	-14,1%	-6,5%	-11,4%	-1,1%	-13,2%	0,8%	3,1%	-9,5%	12,6%
Одеська	-6,5%	-3,9%	-10,5%	-6,4%	-12,9%	-0,9%	4,0%	-1,0%	15,3%
Полтавська	-10,7%	-4,8%	-7,1%	-8,3%	-13,8%	5,3%	-0,2%	-4,2%	0,8%
Рівненська	-9,6%	-4,7%	0,0%	0,7%	-4,3%	7,8%	4,7%	13,0%	8,3%
Сумська	-2,0%	-6,1%	-7,1%	-4,2%	-18,4%	7,2%	6,7%	-6,6%	10,7%
Тернопільська	-5,4%	-6,3%	-9,6%	-7,6%	-10,9%	6,9%	0,1%	1,5%	33,9%
Харківська	-6,9%	-1,8%	-10,2%	-8,0%	-14,7%	4,8%	3,9%	-0,7%	19,3%
Херсонська	-7,1%	-2,9%	-4,3%	-4,1%	-14,9%	3,8%	5,2%	-6,6%	7,5%
Хмельницька	-7,2%	-4,3%	-11,7%	-3,9%	-7,9%	5,5%	-7,2%	1,9%	14,7%
Черкаська	-12,4%	-2,3%	-9,6%	-7,0%	-8,4%	5,1%	0,4%	-11,1%	5,3%
Чернівецька	-4,0%	-5,8%	-3,7%	2,1%	10,2%	12,1%	9,9%	11,2%	26,2%
Чернігівська	-15,5%	-9,8%	-9,2%	-10,7%	-17,3%	1,9%	3,4%	-10,3%	11,3%
м.Київ	-4,4%	7,8%	-2,5%	-0,1%	-4,5%	17,7%	2,3%	3,2%	20,5%

У табл. 1 дані про надлишкову смертність для вересня наведено разом з даними про смертність від нового коронавірусу, та розглянуто їх співвідношення. Відношення числа підтверджених померлих про коронавірусі та надлишкової смертності можна умовно тлумачити як частку виявленої надлишкової смертності серед летальних випадків covid-19. На рис. 3-6 і ці дані візуалізовано на карті України.

Таблиця 2 Надлишкова смертність, смертність від COVID-19 у вересні та їх відношення.

	Надлишкова смертність за вересень		Померли від COVID-19 у вересні	Частка виявлення надлишкової смертності у статистиці COVID-19
	Абсолютна за місяць	Відносна		
Україна	5942	14,0%	1715	28,9%
Львівська	700	29,7%	165	23,6%
Харківська	592	19,3%	149	25,2%
м.Київ	496	20,5%	181	36,5%
Київська	424	20,4%	108	25,5%
Дніпропетровська	391	10,4%	104	26,6%
Одеська	366	15,3%	104	28,4%
Тернопільська	361	33,9%	98	27,1%
Івано-Франківська	350	27,6%	85	24,3%
Луганська	230	20,5%	11	4,8%
Вінницька	227	12,7%	31	13,7%
Чернівецька	216	26,2%	77	35,6%
Закарпатська	214	19,4%	43	20,1%
Хмельницька	213	14,7%	96	45,1%
Волинська	166	17,3%	49	29,6%
Чернігівська	158	11,3%	48	30,3%
Миколаївська	154	12,6%	54	35,1%
Житомирська	151	10,4%	43	28,6%
Запорізька	141	7,0%	45	32,0%
Сумська	139	10,7%	57	40,9%
Рівненська	90	8,3%	37	41,1%
Херсонська	85	7,5%	14	16,4%
Черкаська	77	5,3%	23	29,9%
Кіровоградська	68	6,1%	11	16,2%
Полтавська	13	0,8%	21	159,1%
Донецька	-79	-2,7%	61	-

Померли від Covid19 у вересні



Рис. 5. Зареєстровані смерті від COVID-19 у вересні.

Частка виявлення надлишкової смертності



Рис. 6. Відношення числа летальних випадків COVID-19 та надлишкової смертності у вересні.

Отримані дані вказують на стійкий зв'язок між числом летальних випадків від COVID-19 та надлишковою смертністю: кореляція між двома показниками становить 0,857 при значущості $p < 0,000001$. Крім того, виявляється, що, окрім частково окупованих областей та Полтавської області, де епідемічна ситуація була помірною (смертність зросла на 0,8%, порівняно з попереднім 5-річним періодом), частка виявлення надлишкової смертності знаходилась у вузькому діапазоні (рис. 7): для третини регіонів України вона знаходилась у діапазоні від 25% до 30%, а для двох третин – у діапазоні від 20% до 40%.

Окремо слід сказати про Донецьку та Луганську області. У період весняного карантину реєстрація смертності там значно знизилась, що може бути пояснене проблемами з надходженням даних з окупованих районів цих областей. Подальша динаміка реєстрацій смертності у цих областях могла у значній мірі визначатись логістичними проблемами.



Рис. 7. Розподіл регіональних значень відношення числа летальних випадків від COVID-19 та надлишкової смертності.

На рис. 8-18 для України та 10 регіонів з надлишковою смертністю у вересні більше 15% представлено її динаміку та динаміку смертності від нового коронавірусу. Візуально помітно, що у найбільш уражених регіонах у найбільш уражені місяці дані про летальні випадки істотно впливають на надлишкову смертність, причому у більшій мірі, ніж це безпосередньо впливає з числа летальних випадків.

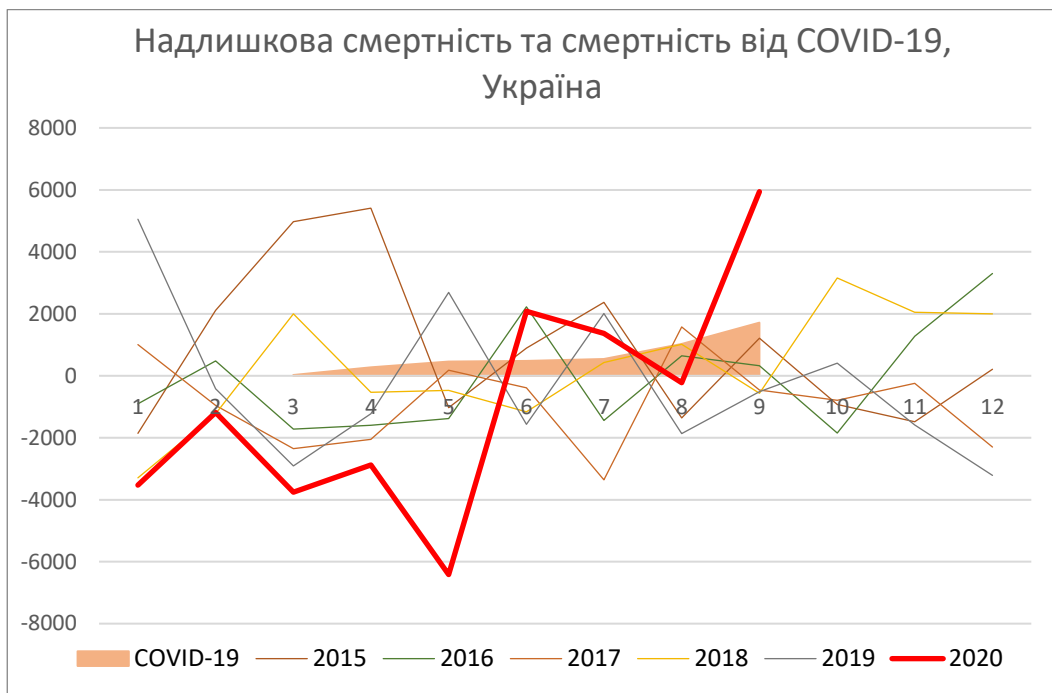


Рис. 8. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), Україна.

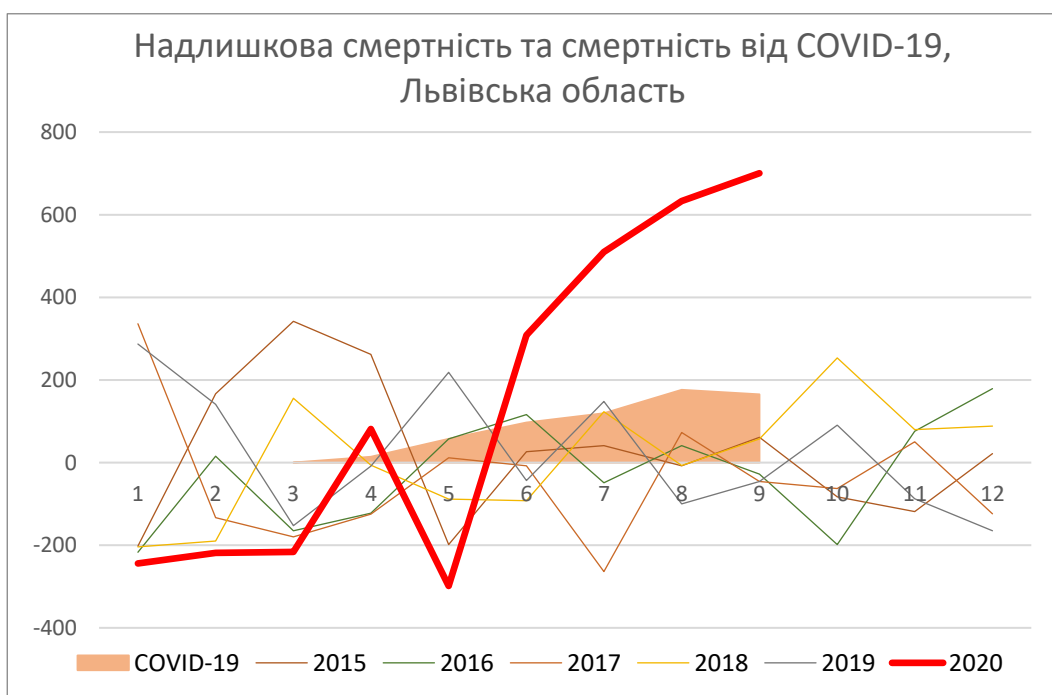


Рис. 9. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), Львівська область.

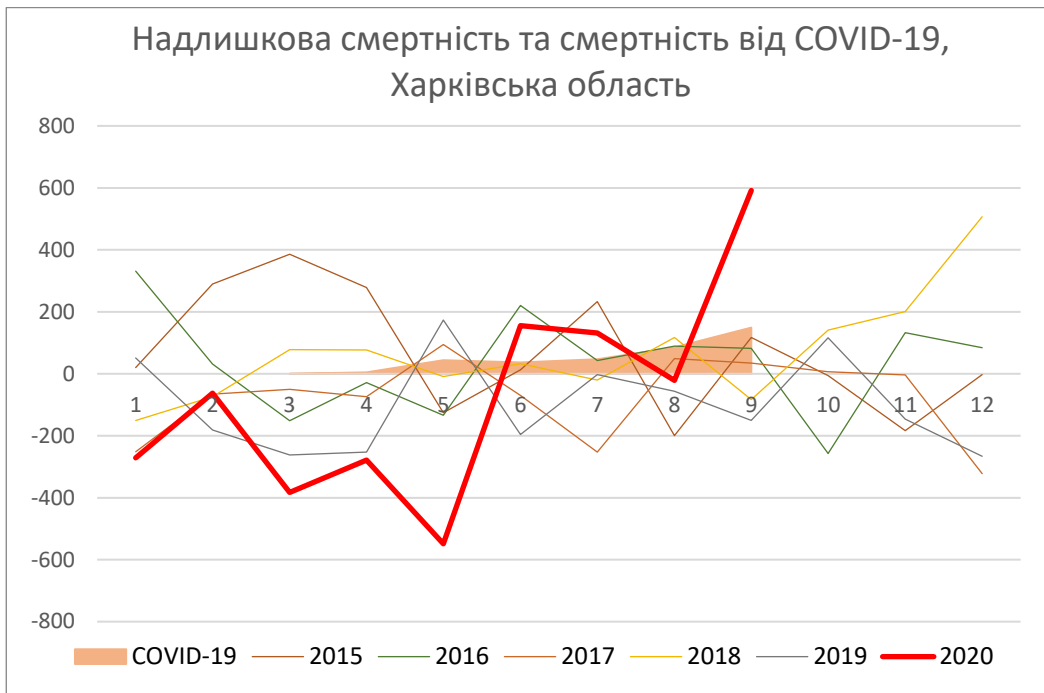


Рис. 10. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), Харківська область.

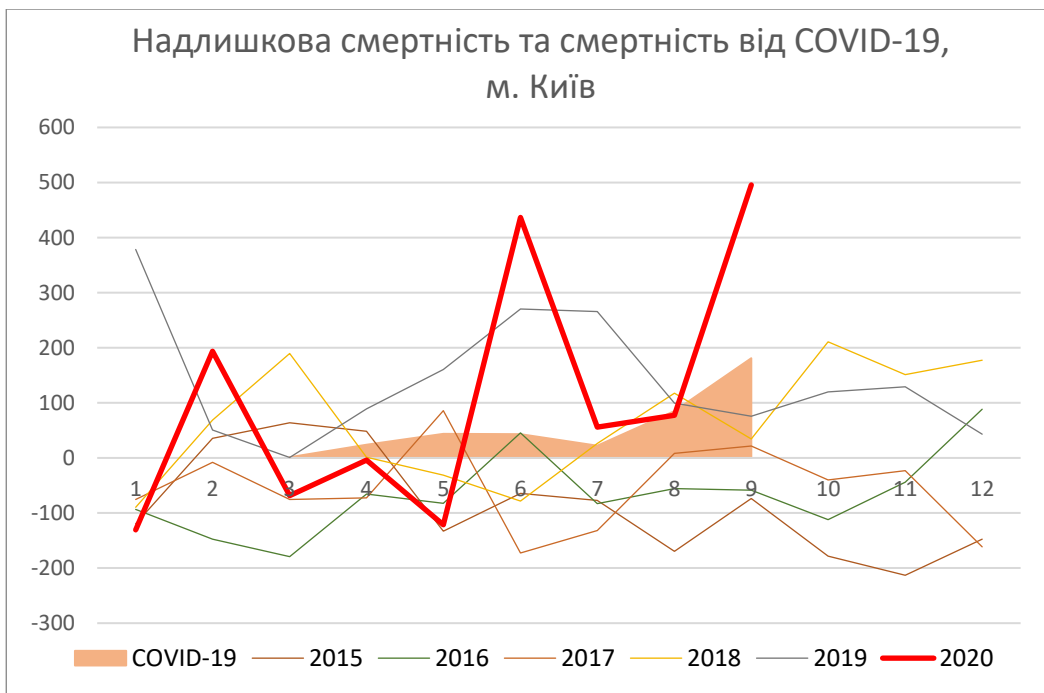


Рис. 11. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), м. Київ.

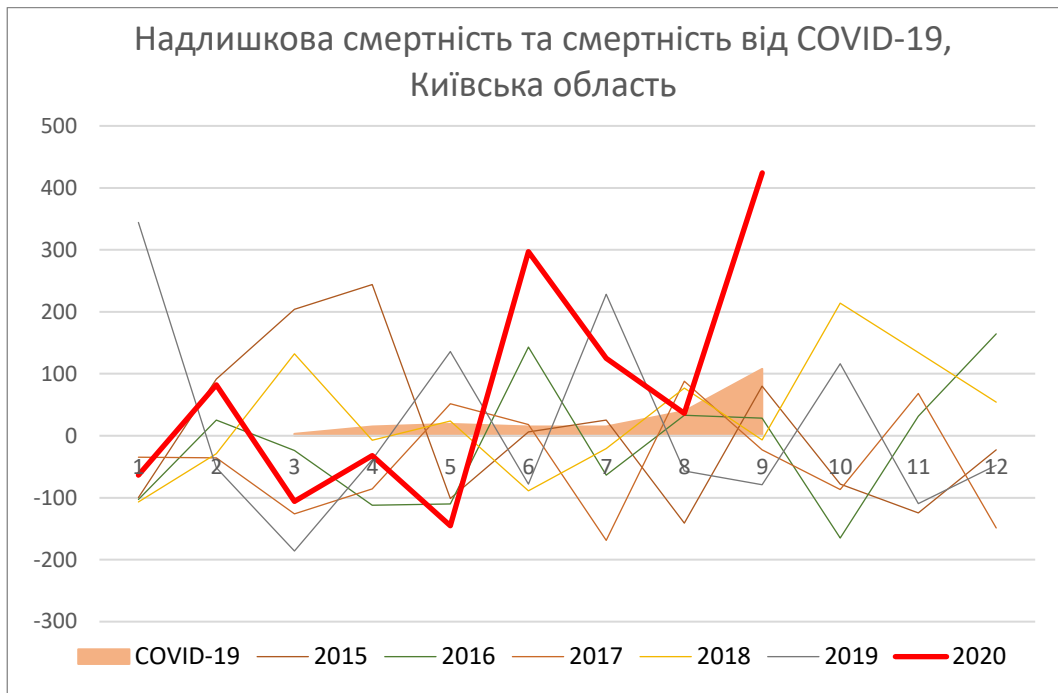


Рис. 12. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), Київська область.

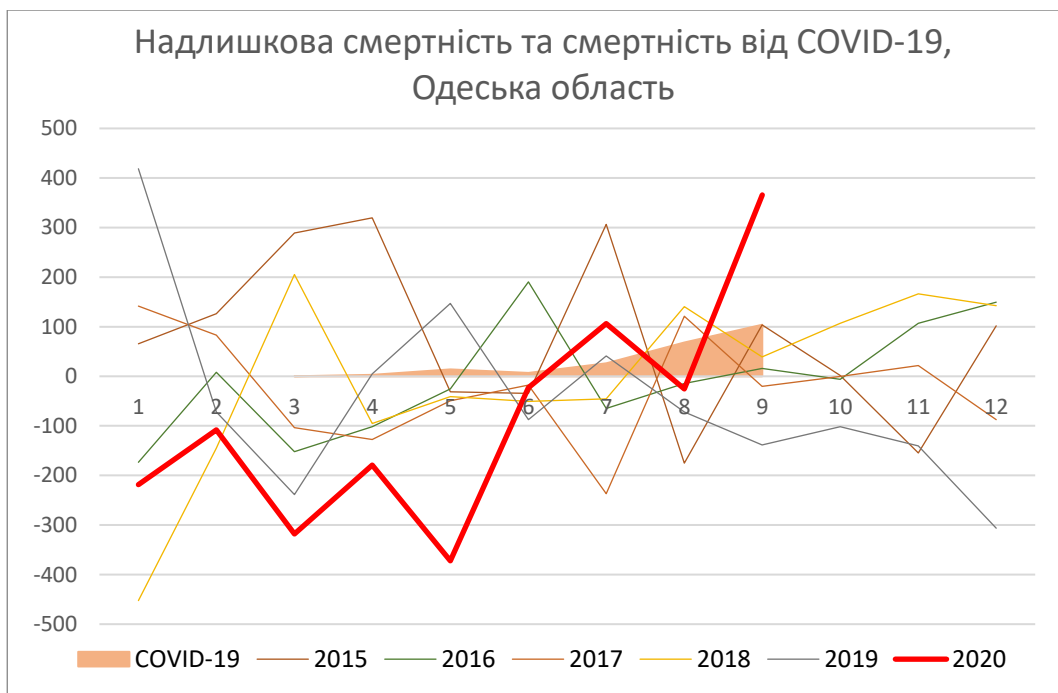


Рис. 13. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), Одеська область.

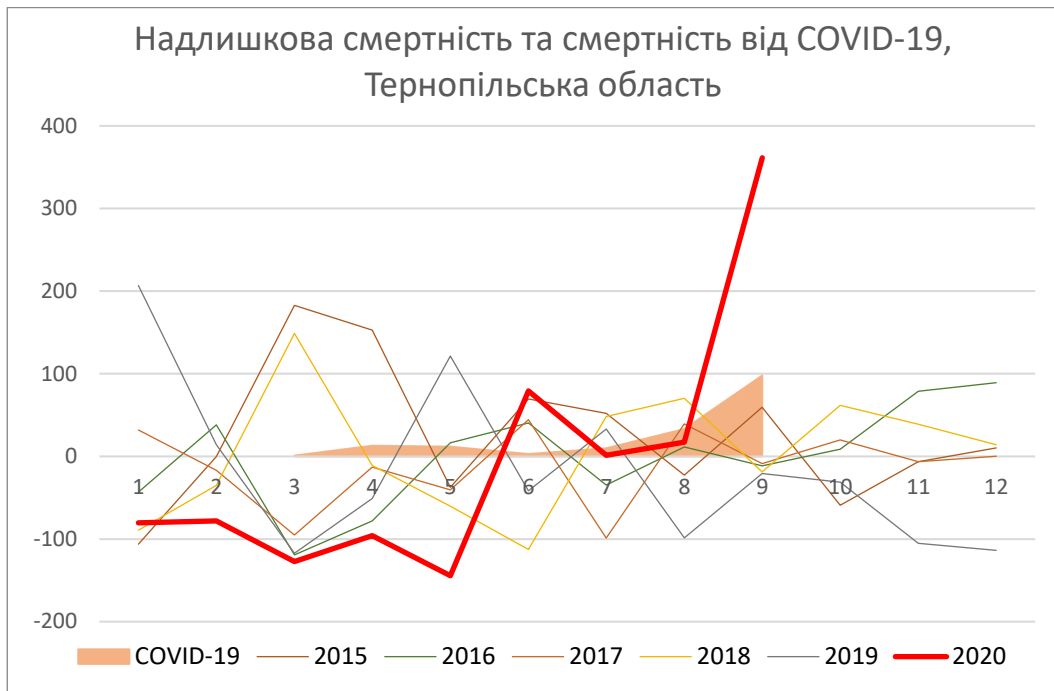


Рис. 14. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), Тернопільська область.

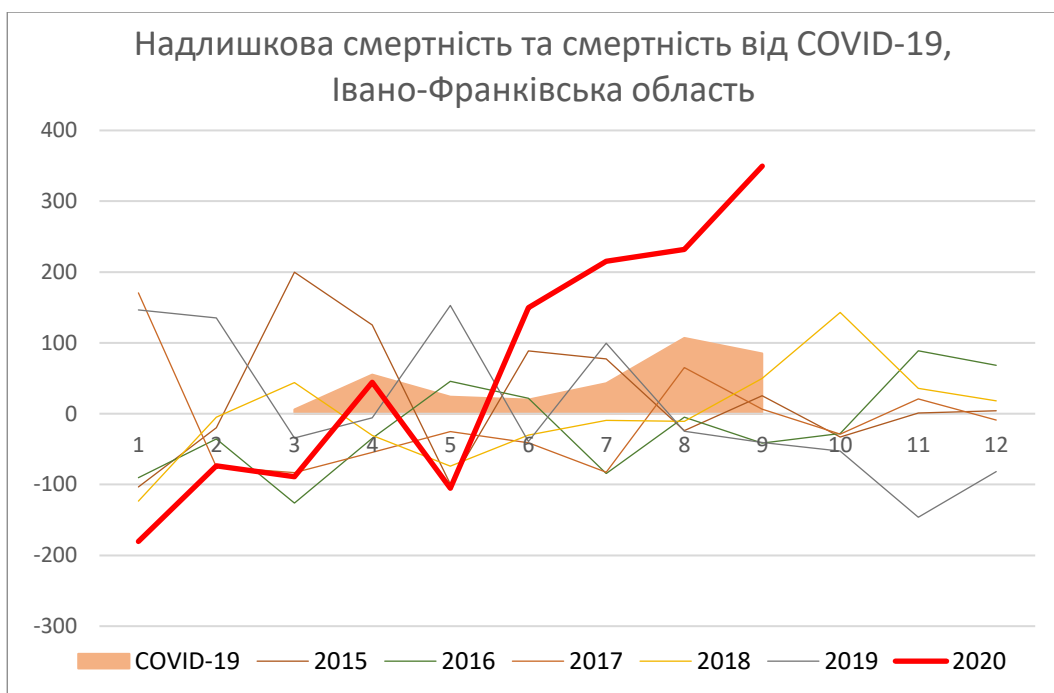


Рис. 15. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), Івано-Франківська область.

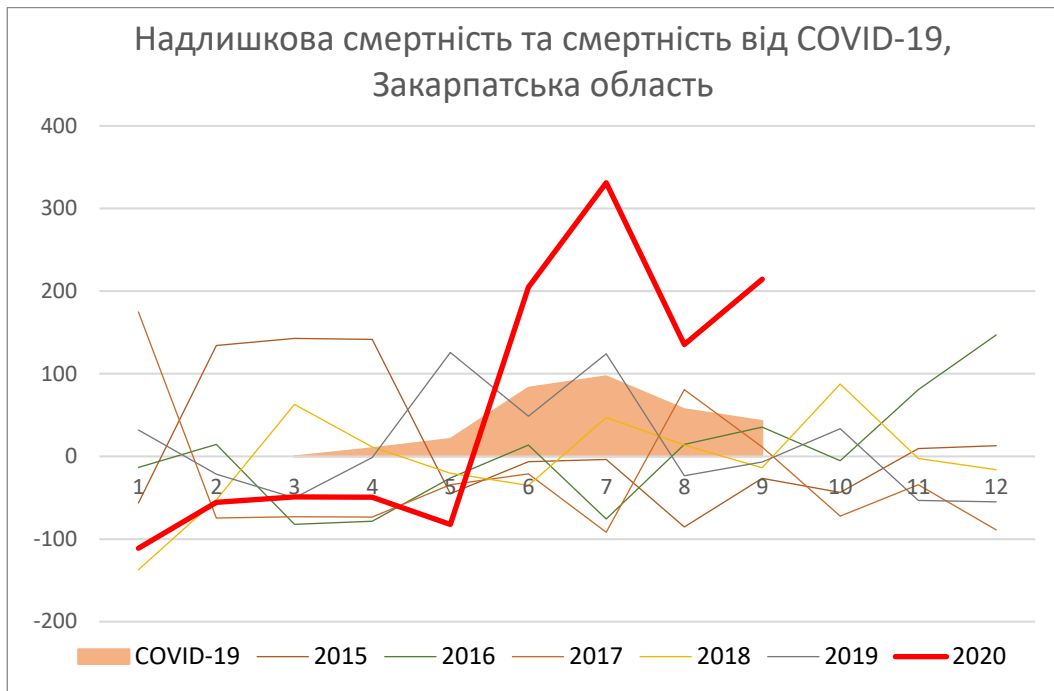


Рис. 16. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), Закарпатська область.

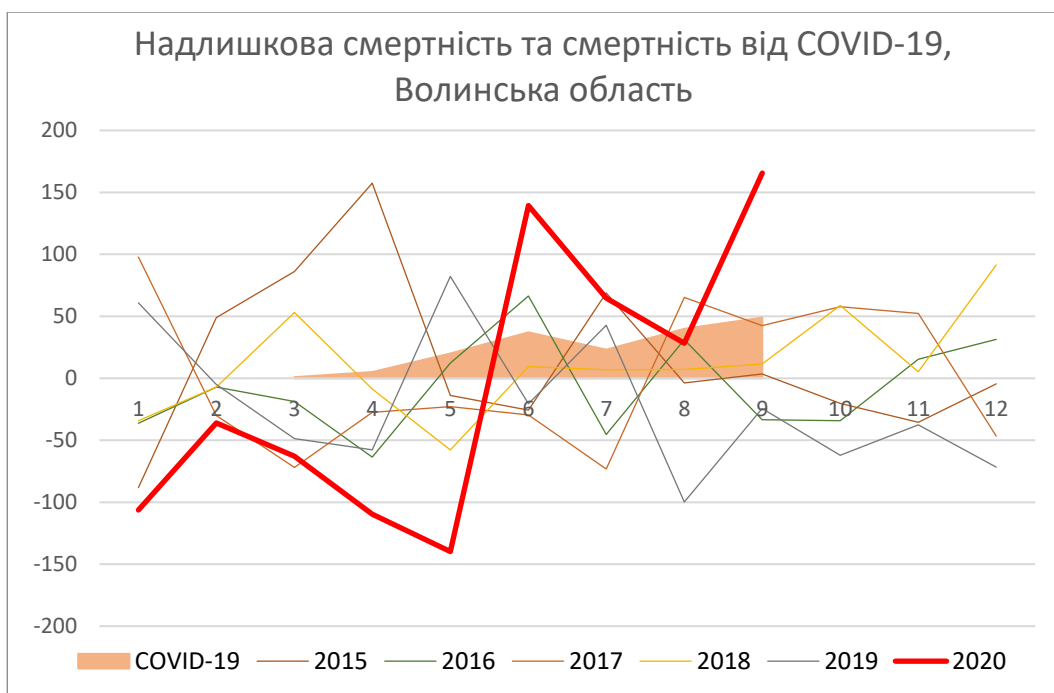


Рис. 17. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), Волинська область.

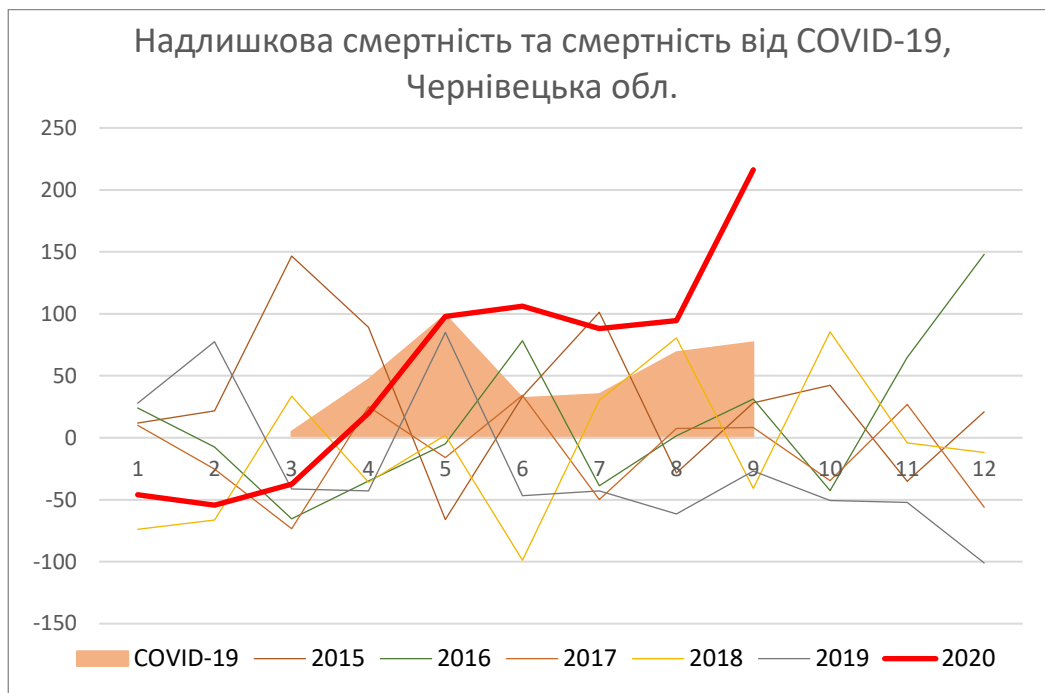


Рис. 18. Надлишкова смертність на тлі середнього значення у 2015-2019 роках та число летальних випадків від COVID-19 зі щоденної статистики (за датою їх настання), Чернівецька область.

У щоденній статистиці захворюваності на COVID-19 частка летальних випадків серед нових хворих лишається у діапазоні 1,5-2% (рис. 19).

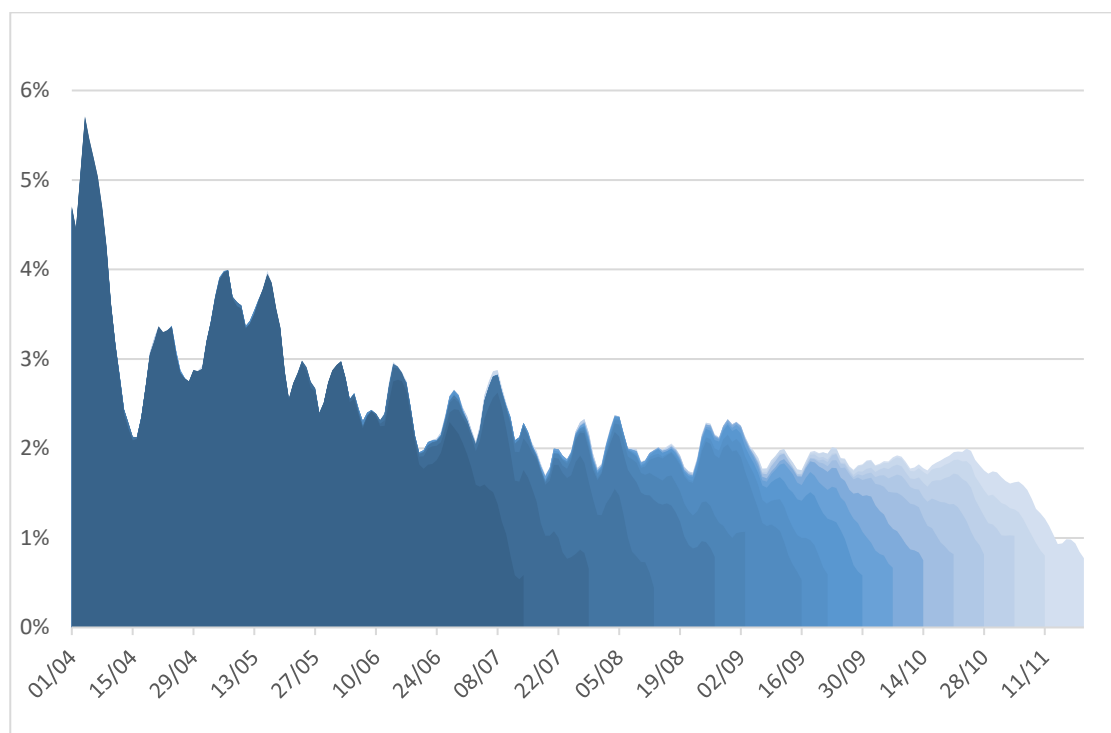


Рис. 19. Частка нових хворих, для яких хвороба мала летальні наслідки та динаміка наповнення даних про неї.

Спостерігалось активне наповнення даними про випадки хвороби у вересні та у кінці серпня, частка завершених серед яких стрімко попрямувала до 90% -- приблизного значення для більш давніх випадків (рис. 20).

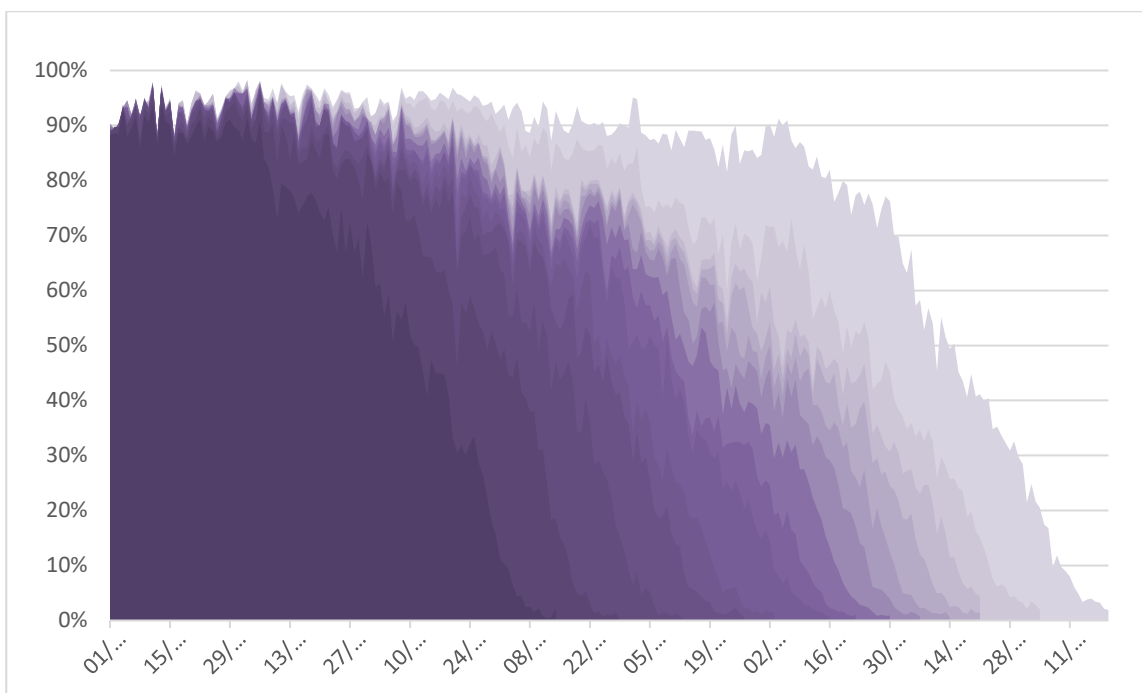


Рис. 20. Частка хворих з відомим результатом хвороби за датами їх реєстрації та динаміка наповнення даних про неї.

Середній вік смерті наблизився до максимуму. Середні показники віку нових хворих та госпіталізованих незначно знизились (рис. 21).

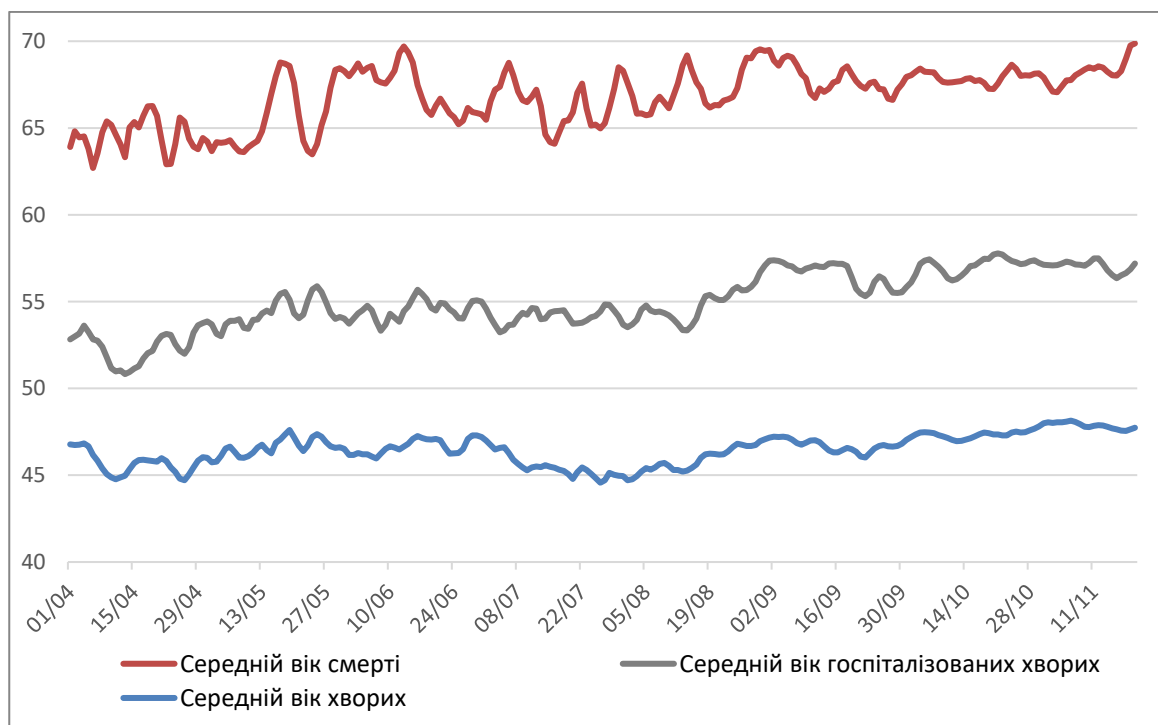


Рис. 21. Середній вік за категоріями інфікованих. До даних застосовано зважене 7-денне середнє.

Частки літній категорій хворих знизилась, а частка неповнолітніх хворих відійшла від мінімуму (рис. 22).

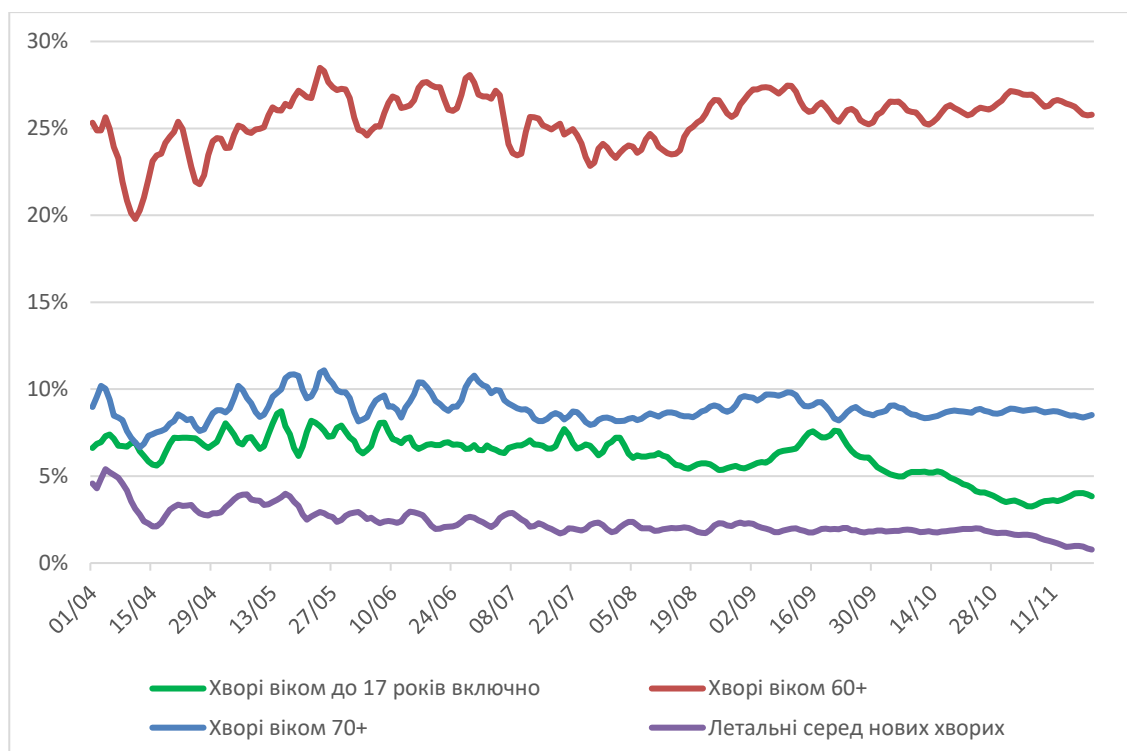


Рис. 22. Частка неповнолітніх осіб, осіб віком від 60 років і старше, осіб віком від 70 років і старше серед нових хворих відповідно, а також частка летальних випадків (застосовано 7-денне усереднення).

На рис. 23 показано динаміку зміни кількості нових інфікованих, нових одужалих і нових активних інфікованих за день згідно зі щоденними звітами МОЗ України для України в цілому.

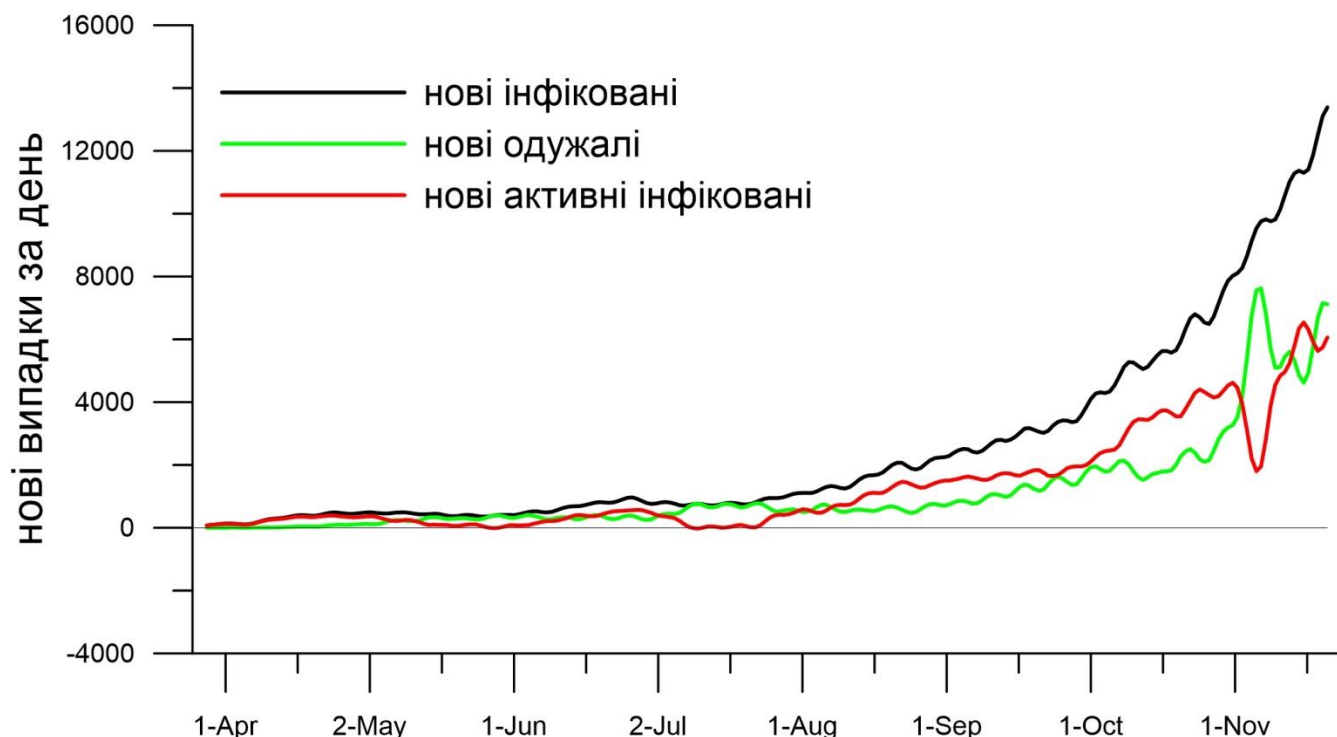


Рис.23. Кількість нових зареєстрованих випадків за день в Україні згідно з даними МОЗ України; кількість осіб, які видужали за день; кількість нових активних інфікованих. Для відображення використовувалося зважене рухоме середнє з вікном 7 днів

За офіційною статистикою, на 6 листопада середня кількість осіб, що одужують, становить **6695** людей на день. Кількість людей, що одужують на день дорівнює приблизно кількості нових випадків місяць тому, що свідчить про покращення системи обліку випадків одужання. Середня за тиждень кількість нових інфікованих на 23.11.2020 р. становить **12857** нових інфікованих на день для України, що на **2500** випадків перевищує середній показник 10 днів тому. Середня за тиждень кількість нових летальних випадків на 23.11.2020 р. становить **197** нових летальних випадків на добу.

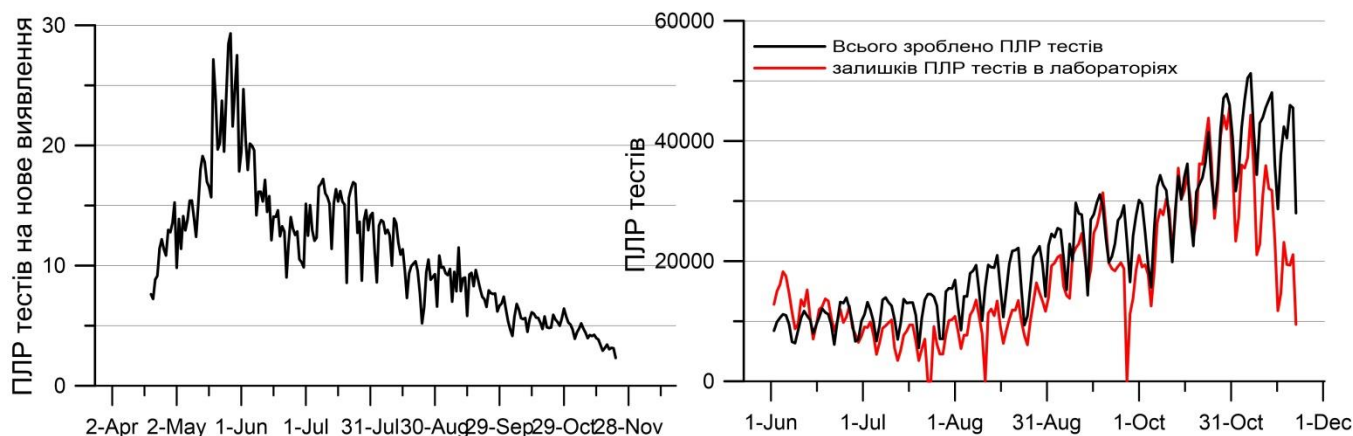


Рис.24. Кількість ПЛР-тестів на день на одного виявленого інфікованого, загальна кількість тестів і кількість непротестованих зразків (залишків), які залишаються в лабораторії

На рис.24 показано кількість тестів на день, віднесена до кількості нових виявлень за день, згідно зі щоденними звітами МОЗ України. Показано також загальну кількість проведених ПЛР-тестів на день і кількість залишків у лабораторії. За останній тиждень (14–20 листопада) було зроблено 268882 ПЛР-тестів і виявлено 88887 нових інфікованих. Кількість ПЛР-тестів, яка витрачається на одного нового інфікованого, становить у середньому 3 ПЛР-тести на одне нове виявлення, що відповідає відсотку виявлення 33% для України в цілому. На графіку на рис.9 можна побачити, що протягом 10 днів останнього тижня кількість тестів, витрачена на одне виявлення, суттєво зменшилася (на 30%) і продовжила глобальний тренд на зниження.

Таблиця 3. Середня кількість ПЛР-тестів на одне нове виявлення в період 14.11–20.11.2020 р.

Область	Середня кількість ПЛР-тестів на одне нове виявлення	Відповідний відсоток виявлення, %	Середня кількість ПЛР-тестів на одне нове виявлення за попередній період (4.11-10.11)
Вінницька область	7.4	13.6	7.3
Волинська область	2.6	38.4	3.3
Дніпропетровська область	1.6	61.1	5.5
Донецька область	2.9	34.2	4.3
Житомирська область	2.1	46.6	2.0
Закарпатська область	4.7	21.5	4.2
Запорізька область	2.9	34.2	3.4
Івано-Франківська область	2.4	41.7	2.7
Київська область	3.0	33.8	4.3
Кіровоградська область	8.3	12.0	7.2
Луганська область	10.2	9.8	4.8

Львівська область	3.0	33.0	3.8
Миколаївська область	1.7	59.5	2.9
м. Київ	6.0	16.7	11.7
Одеська область	4.0	25.1	3.7
Полтавська область	2.3	44.0	2.7
Рівненська область	2.5	39.5	3.4
Сумська область	1.5	68.6	2.9
Тернопільська область	3.0	33.4	5.3
Харківська область	2.6	39.0	2.8
Херсонська область	5.8	17.2	6.1
Хмельницька область	2.2	45.8	2.5
Черкаська область	1.5	66.0	7.9
Чернівецька область	2.6	38.0	3.2
Чернігівська область	1.7	59.9	4.8
Україна в цілому	3.0	33.1	4.4

Дані щодо [обсягів тестування по кожній області України](#) відображено в таблиці 3. За ними можна оцінити тенденції зміни обсягів тестування. Зменшення кількості тестів на одне виявлення (або збільшення відсотка виявлення) може свідчити про погіршення епідеміологічної ситуації. Таблиця 3 демонструє середню кількість ПЛР-тестів на одне виявлення для кожної області у період із 14 по 20 листопада. В цілому продовжився довготривалий тренд на збільшення відсотку виявлення, який склав 33% для України, або 3 ПЛР-тести на кожне нове виявлення. В п'яти областях України кількість тестів на одне нове виявлення впало до значень менше 2-х. До загальної кількості проведених тестів належать повторні тестування і тестування при виписках.

Таблиця 4. Середній відсоток госпіталізованих і летальних випадків, заповненість опорних лікарень у розрізі областей в період 14.11–20.11.2020 р.

Область	Відсоток виявлення при тестуванні, %	Середній відсоток госпіталізованих серед всіх нових виявлених, %	Середній відсоток померлих серед всіх нових виявлених, %	Заповненість опорних лікарень за даними КМУ, %
Вінницька область	13.6	10.9	1.7	23.0
Волинська область	38.4	11.9	1.2	34.2
Дніпропетровська область	61.1	21.4	2.2	33.8
Донецька область	34.2	11.8	3.3	29.9
Житомирська область	46.6	22.8	1.8	31.9
Закарпатська область	21.5	14.8	1.8	39.1
Запорізька область	34.2	7.0	1.2	36.9
Івано-Франківська область	41.7	27.2	1.3	51.2
Київська область	33.8	6.2	1.1	42.8
Кіровоградська область	12.0	28.8	2.6	38.9
Луганська область	9.8	14.8	2.9	17.7
Львівська область	33.0	15.5	2.1	31.0
Миколаївська область	59.5	8.8	1.1	31.8
м. Київ	16.7	8.0	1.9	41.2
Одеська область	25.1	13.7	1.1	37.4
Полтавська область	44.0	7.4	2.4	23.9
Рівненська область	39.5	5.1	1.2	32.3
Сумська область	68.6	3.7	0.8	36.3
Тернопільська область	33.4	10.5	1.8	30.7

Харківська область	39.0	17.8	1.5	32.4
Херсонська область	17.2	4.6	2.3	34.5
Хмельницька область	45.8	12.5	1.1	42.9
Черкаська область	66.0	7.9	0.5	58.0
Чернівецька область	38.0	9.1	1.5	40.9
Чернігівська область	59.9	7.3	0.1	42.2
Україна в цілому	33.1	12.0	1.5	36.8 (-4.5)

Таблиця 5. Перелік медичних закладів, де зайнято понад 85% ліжок, призначених для хворих із COVID-19

	Назва медичного закладу	Область	Кількість ліжок	Заповненість, %
1	КНП Маріупольської міської ради «Маріупольська міська лікарня №9»	Донецька	101	100
2	КНП «Івано-Франківська обласна клінічна інфекційна лікарня Івано-Франківської обласної ради»	Івано-Франківська	140	87.9
3	КНП «Тлумацька центральна міська лікарня» Тлумацької районної ради Об'єднаної територіальної громади Івано-Франківської області	Івано-Франківська	80	95
4	КНП Ірпінської міської ради «Ірпінська центральна міська лікарня»	Київська	60	88.3
5	КНП «Київська міська клінічна лікарня №9» виконавчого органу Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації)	м.Київ	126	90.5
6	КНП «Київська міська клінічна лікарня №17» виконавчого органу Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації)	м.Київ	60	95
7	КНП «Київська міська клінічна лікарня №1» виконавчого органу Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації)	м.Київ	100	89
8	КНП «Міська клінічна лікарня №1» Одеської міської ради	Одеська	30	100
9	КНП СМР "Клінічна лікарня №4"	Сумська	30	96.7
10	КНП Харківської обласної ради «Обласний клінічний спеціалізований диспансер радіаційного захисту населення»	Харківська	125	87.2
11	Шполянська центральна районна лікарня імені братів М.С. і О.С. Коломійченків	Черкаська	32	103
12	КНП «Звенигородська центральна районна лікарня» Звенигородської районної ради	Черкаська	30	93.3
13	КНП «Перша Черкаська міська лікарня»	Черкаська	30	96.7
14	КЛПЗ Ніжинська центральна міська лікарня імені Миколи Галицького Ніжинської міської Ради Чернігівської облас	Чернігівська	80	92.5

У таблиці 4 для кожної області представлено середній відсоток госпіталізованих інфікованих за останній тиждень, відсоток летальних випадків і наповненість медичних установ на цей момент. Із таблиці 4 видно, що високий відсоток виявлення при проведенні тестування не завжди відповідає високому відсотку госпіталізації та летальності. У таблиці 5 наведено перелік медичних установ, рівень заповнення яких перевищує 85%. Перелік складається з 14 лікарень, 3 із яких заповнені на 100% і **більше**. За десять днів перелік переповнених лікарень зменшився, хоча варто зазначити, що перелік лікарень [за даними Кабінету Міністрів України](#) є неповним.

Дані, наведені на рис.23, відображають інформацію на момент її оприлюднення. Тоді як інформація в даних ЦГЗ МОЗ України та НСЗУ наводиться зведеною до фактичних дат реєстрації, госпіталізації, одужання чи смерті. Графіки на рис.25–28 показують різницю між оприлюднюваними та фактичними даними, що сумарно збігаються, але можуть мати зсуви у часі.

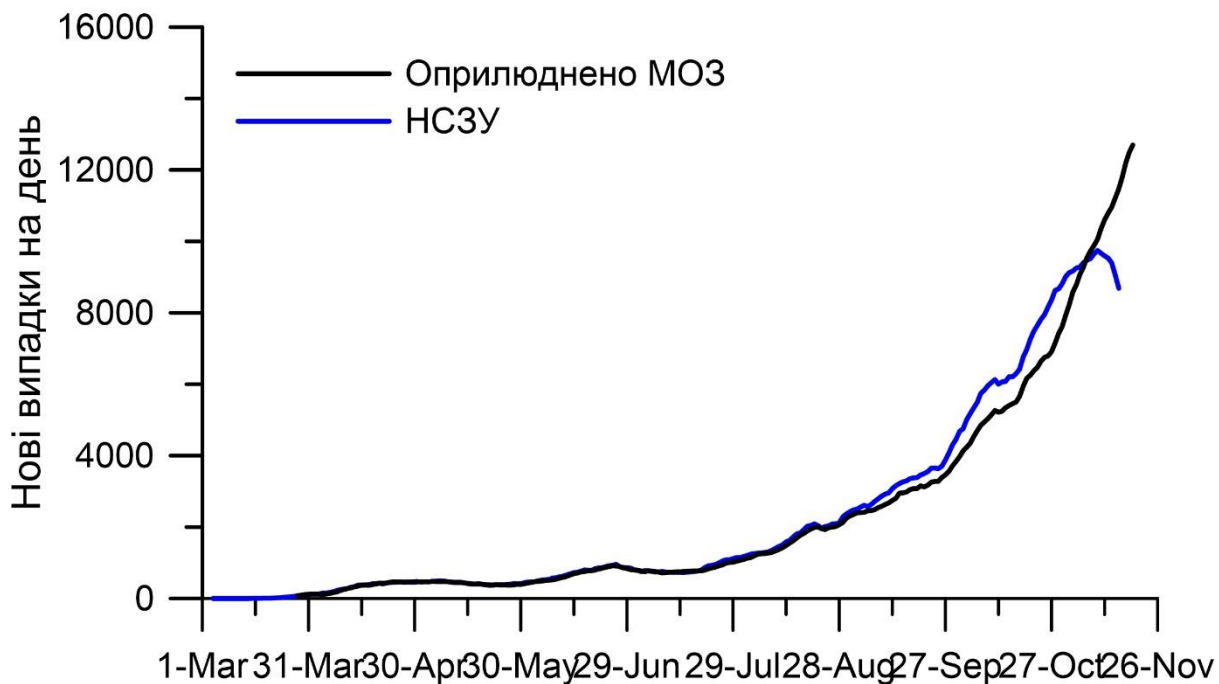


Рис.25. Порівняння даних про щоденну кількість нових виявлень, зведену до дати оприлюднення (чорна крива) та дати реєстрації випадку (синя крива). Дані відображено згладженими 7-денним рухомих середнім

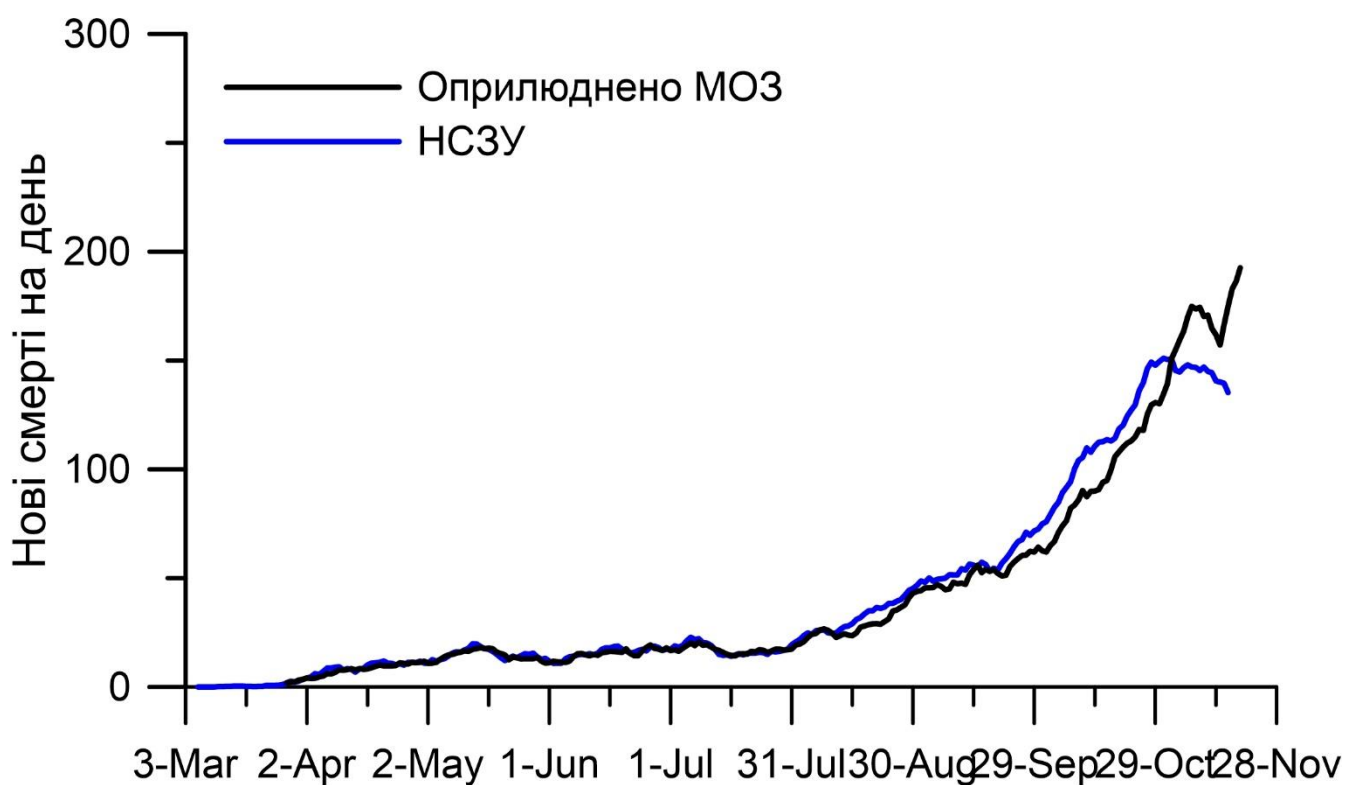


Рис.26. Порівняння даних про щоденну кількість нових летальних випадків, зведену до дати оприлюднення (чорна крива) та дати настання смерті (синя крива). Дані відображено згладженими 7-денним рухомих середнім

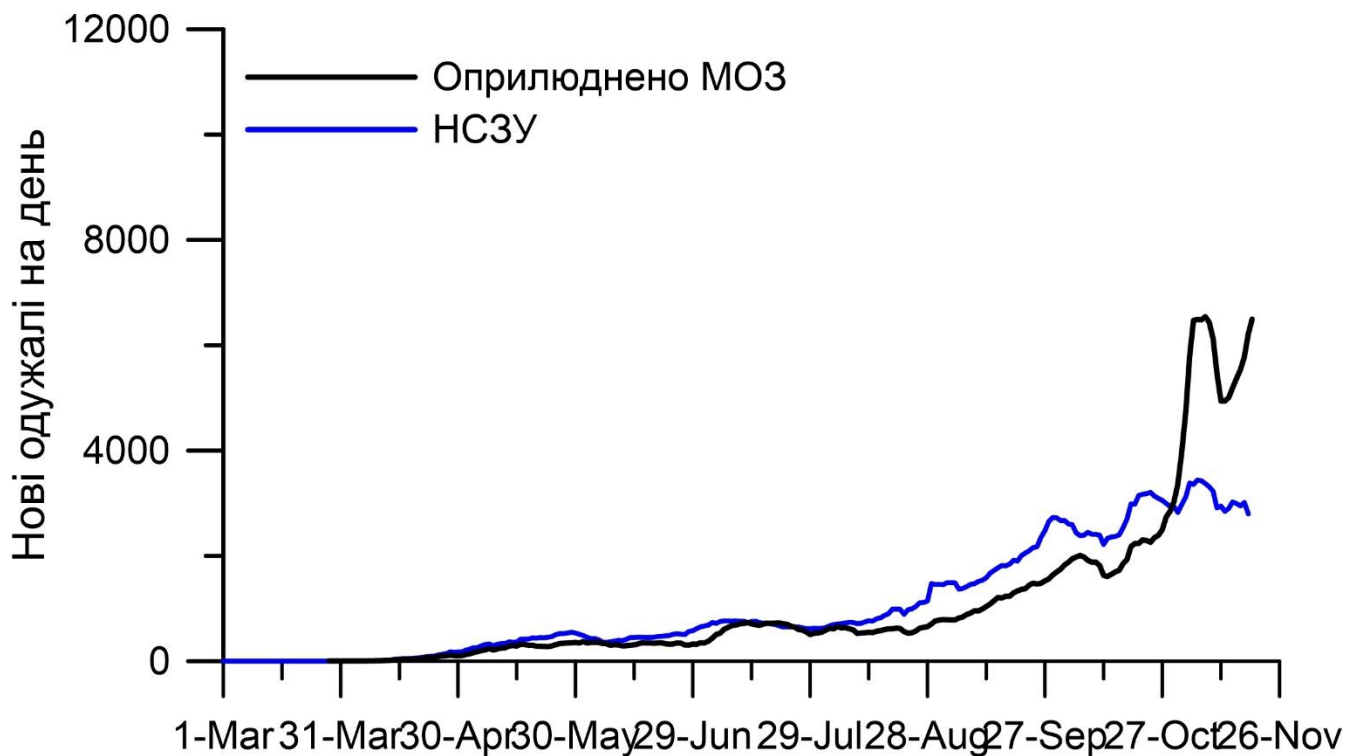


Рис.27. Порівняння даних про щоденну кількість нових одужань, зведену до дати оприлюднення (чорна крива) та дати настання смерті (синя крива). Дані відображено згладженими 7-денним рухомим середнім

Із рис.25–26 видно, що дані про нові виявлення за день і нові летальні випадки після рухомого осереднення добре узгоджуються між собою для України в цілому.

На рис.12 показано, що дані про нових одужалих суттєво різняться. Це свідчить про те, що вони надходять зі значними затримками і дуже неоднорідно розподіляються за попередніми датами. Дані щодо нових одужань узгоджуються дуже по-різному для різних областей. Найкраще вони узгоджені у Тернопільській області. Для решти областей дані надходять із великими і нерегулярними затримками.

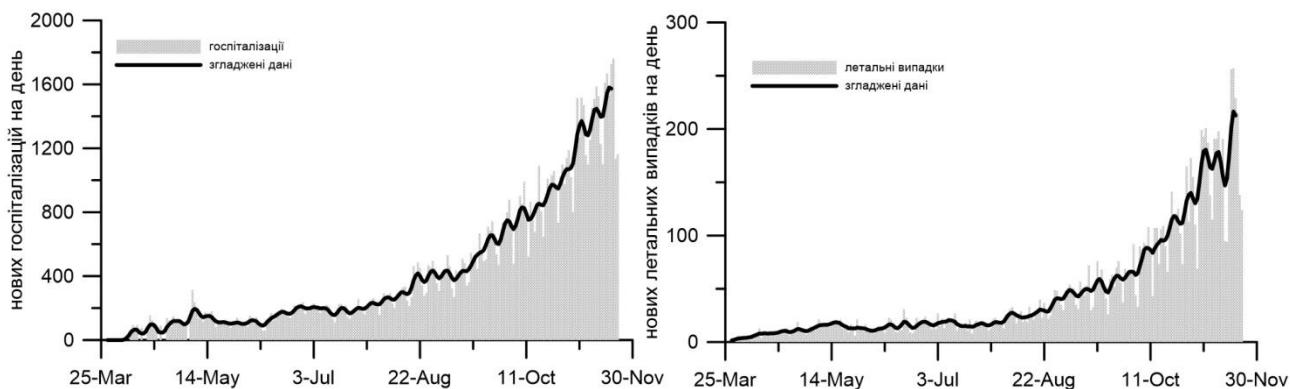


Рис.28. Дані про щоденну кількість нових госпіталізацій та летальних випадків для України, зведених до дати оприлюднення. Дані відображено згладженими 7-денним рухомим середнім

На рис.28 показано кількість госпіталізацій і летальних випадків згідно зі щоденними звітами МОЗ України. За останній тиждень кількість нових госпіталізацій становить у середньому 1514 нових госпіталізацій за день, що на 11% більше, ніж 10 днів тому. Згідно із графіком летальних випадків на рис.28, динаміка смертності повернулася до попередньої тенденції зростання, та, з огляду на зростання кількості нових підтверджених інфікованих і госпіталізацій, слід очікувати подальшого зростання смертності.

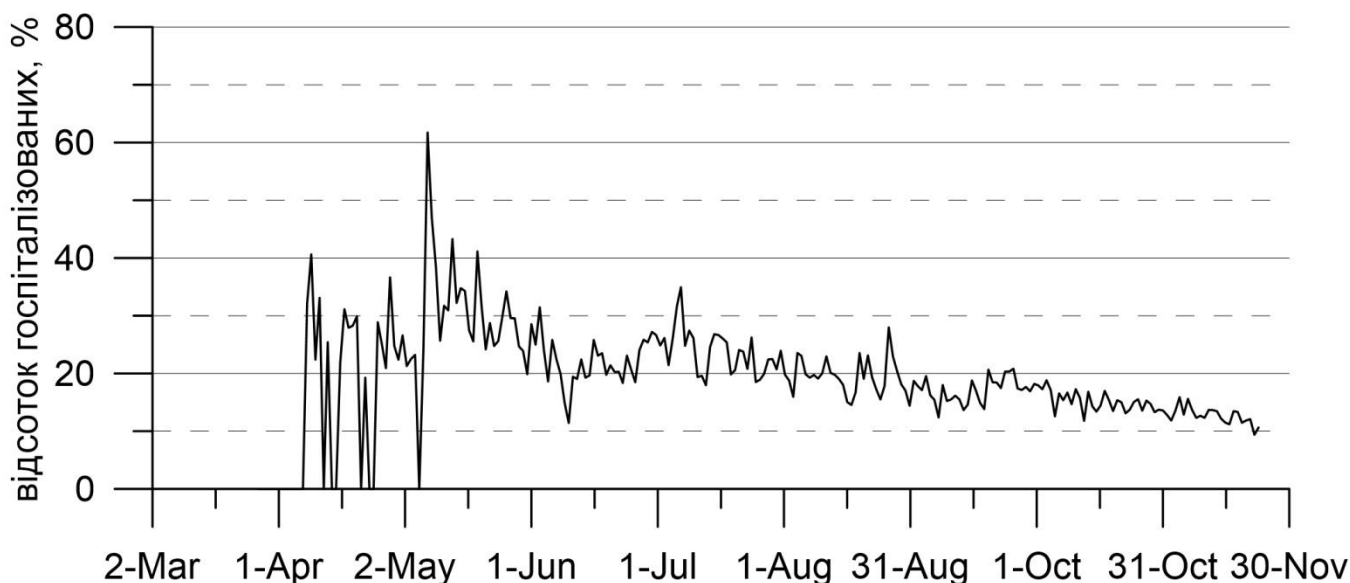


Рис.29. Відсоток госпіталізованих серед усіх нових виявлень на день згідно зі щоденними звітами МОЗ України

На рис.29 показано зміну в часі відсотка госпіталізованих випадків серед усіх нових виявлень на день. Із графіка видно, що впродовж останнього тижня відсоток госпіталізацій серед нових виявлених випадків продовжив зменшення, склавши в середньому 11.8%.

2. Порівняння з прогнозом [від 13.11.2020 р.](#)

Таблиця 6. Порівняння прогнозних значень кількості нових інфекцій від 13.11.2020 р. для кожної області України зі спостережуваними середніми за тиждень значеннями. Дані подаються усередненими за тиждень

Область	Середнє значення прогнозу на 20.11	Інтервал	Усереднене значення за тиждень спостереження на 20.11
Вінницька область	216	172-262	213
Волинська область	556	440-679	378
Дніпропетровська область	504	400-614	899
Донецька область	452	359-549	457
Житомирська область	746	592-910	568
Закарпатська область	500	396-610	285
Запорізька область	1112	877-1364	773
Івано-Франківська область	740	586-903	551
Київська область	993	784-1217	761
Кіровоградська область	106	84-129	79
Луганська область	121	96-148	76
Львівська область	614	487-748	559
Миколаївська область	366	291-446	362
м. Київ	1155	917-1409	1135

Одеська область	698	554-851	674
Полтавська область	598	473-731	439
Рівненська область	605	479-740	430
Сумська область	678	536-830	584
Тернопільська область	175	140-213	262
Харківська область	770	614-935	588
Херсонська область	278	221-340	239
Хмельницька область	590	469-718	477
Черкаська область	211	168-257	681
Чернівецька область	518	411-630	429
Чернігівська область	203	161-246	306
Україна в цілому	13087	10463-16079	12205

У таблиці 4 наведено прогностичні інтервали, обчислені в «Прогнозі РГ-28» від 13.11.2020 р. для кожної області України, та дані спостережень на 20.11.2020. р., усереднені за тиждень. Із таблиці видно, що в цілому дані відповідають середнім очікуванням. Серед найбільш уражених регіонів перевищення очікувань не відбулося. Незначно покращився прогноз для одинадцяти областей і погіршився для чотирьох. По Україні в цілому середня кількість нових випадків лежить дещо нижче середини прогнозованого інтервалу.

3. Прогноз розвитку епідемії в Україні з використання статистичної моделі часових рядів Facebook Prophet.

В цьому документі представлений прогноз обчислений двома різними підходами. Крім традиційної компартментної моделі було використано статистичну модель, яка, хоч і не має закладених фізичних механізмів розповсюдження епідемії, але дозволяє неявно враховувати багато інших факторів. В умовах стабільного поширення епідемії, а також зменшення обсягів тестування та збільшення відсотку позитивності тестів, а також при зміні погодних умов та карантинних обмежень, використання такої моделі виглядає доцільним.

За допомогою методів статистичного аналізу було проведено дослідження динаміки щоденної кількості нових хворих з липня 2020 року для виявлення закономірностей поширення епідемії, для дослідження впливу свят та псевдосвят (аномальні дати на кшталт державних свят, теплих днів без опадів тощо), впливу тижневої та інших видів сезонної мінливості та виявлення їх характеру.

Аналізувались дані щодо нових виявлень на день та нових летальних випадків для України в цілому, коли спостерігалось невинне зростання з 7-денною періодичністю – з 6 липня 2020 року. Була використана найсучасніша модель Facebook Prophet, яка демонструє високу ефективність для моделювання часових рядів, які містять аномальні дати, різні види сезонності та лінійну чи нелінійну динаміку впливу різних складових моделі. Розроблено і застосовано алгоритм налаштування багатьох параметрів цієї моделі, який прогнозує дані на задану кількість днів вперед, але дані наявних спостережень за останні дні використовувались для вибору найкращої моделі із налаштованих. Проведено дослідження для періоду прогнозування 14 днів.

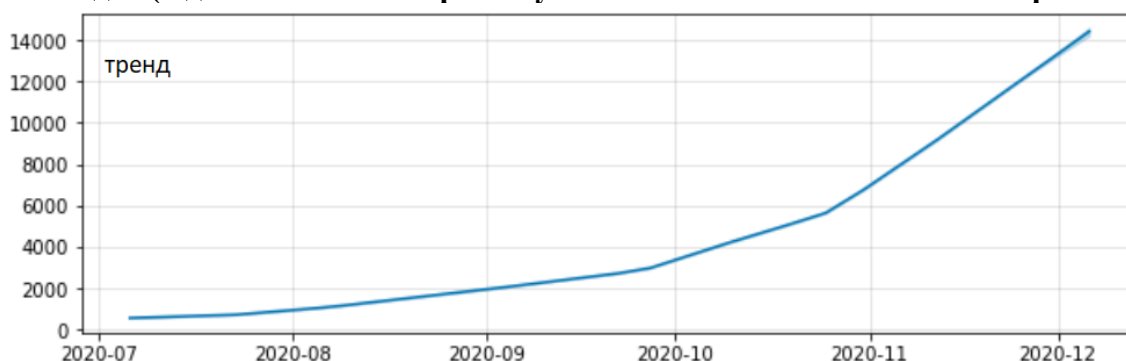
В якості аномальних дат (свята і псевдосвята), розглядались дати державних свят, дати потенційного зростання кількості відпочиваючих (коли було дуже тепло і не було опадів) та дати послаблення карантину за відкритими даними датасету Google-платформи «COVID-19 Open Data», <https://github.com/GoogleCloudPlatform/covid-19-open-data>.

Спрощена модель застосовувалась як для України, так і для інших майже 70 країн світу, по яких у наборі даних «Facebook holidays» є інформація про державні свята цих країн (див. результати:

<https://www.kaggle.com/vbmokin/covid-19-in-70-countries-daily-prophet-forecast?scriptVersionId=47433942>). Для України окремо була застосована більш ефективна модель, яка за даними 6.07-8.11 дала прогноз на 9.11-22.11 із сумарною відносною похибкою за усі 14 днів – 2,2% (<https://www.kaggle.com/vbmokin/covid-in-ua-prophet-with-4-7d-seasonality?scriptVersionId=47484394>) (рис. 30, 31, прогноз даних на 2 тижні вперед див. у табл. 7). Цей же, більш ефективний, алгоритм налаштування моделі був застосований для моделювання щоденної кількості смертельних випадків в Україні, але поки не забезпечив такої ж високої точності – лише 13,8% (див. рис. 32, 33, прогноз даних на 2 тижні вперед див. у табл. 8) (<https://www.kaggle.com/vbmokin/covid-death-in-ua-prophet-with-4-7d-seasonality/output?scriptVersionId=47489598>). Це говорить про те що в динаміці смертності фактор випадковості є більш суттєвим, ніж для кількості нових випадків.



Рис. 30. Щоденна кількість нових підтверджених випадків хворих на covid-19 в Україні з 6 липня 2020 р.: чорні крапки – дані спостережень до 22.11.2020 р., синя лінія – результат моделювання і прогнозування на 2 тижні до 6.12.2020 р. за моделлю на основі Facebook Prophet з авторським алгоритмом налаштування параметрів, з урахуванням впливу аномальних дат (відносна похибка прогнозування 2-х останніх тижнів спостережень – 2,2%)



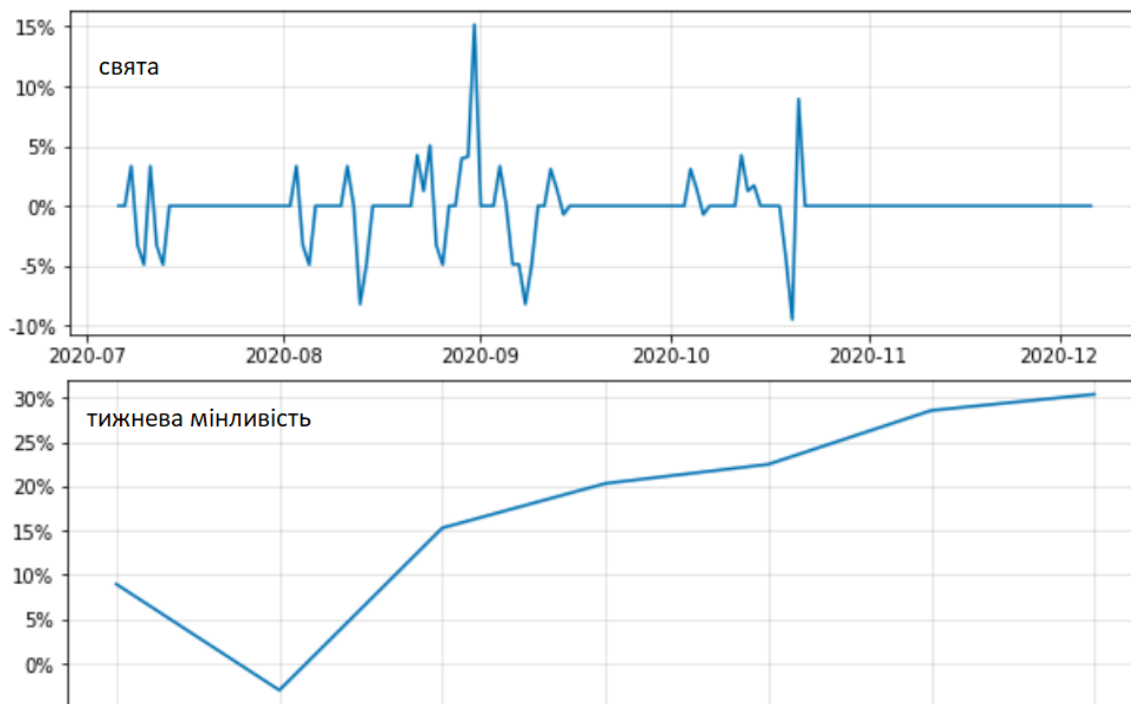


Рис. 31. Складові моделі на рис. 30 для моделювання та прогнозування щоденної кількості нових підтверджених випадків хворих на covid-19 в Україні з 6 липня 2020 р.: а) основний тренд, б) динаміка впливу аномальних дат (державних свят, дуже теплих днів без опадів та дат послаблення карантину) зі зсувом в 1 тиждень; в) тижнева мінливість

Таблиця 7. Прогноз кількості нових підтверджених випадків хворих на covid-19 в Україні за моделлю з урахуванням впливу аномальних дат

Дата	Нижня межа довірчого інтервалу, кількість випадків	Прогнозоване значення, кількість випадків	Верхня межа довірчого інтервалу, кількість випадків
23.11.2020	10975	11229	11464
24.11.2020	13566	13799	14033
25.11.2020	14254	14501	14728
26.11.2020	14585	14827	15047
27.11.2020	15777	16008	16257
28.11.2020	16478	16723	16967
29.11.2020	13822	14073	14324
30.11.2020	12263	12523	12775
01.12.2020	15081	15346	15598
02.12.2020	16220	16495	16779
03.12.2020	16578	16879	17176
04.12.2020	17465	17768	18055
05.12.2020	18165	18483	18826
06.12.2020	15602	15906	16230

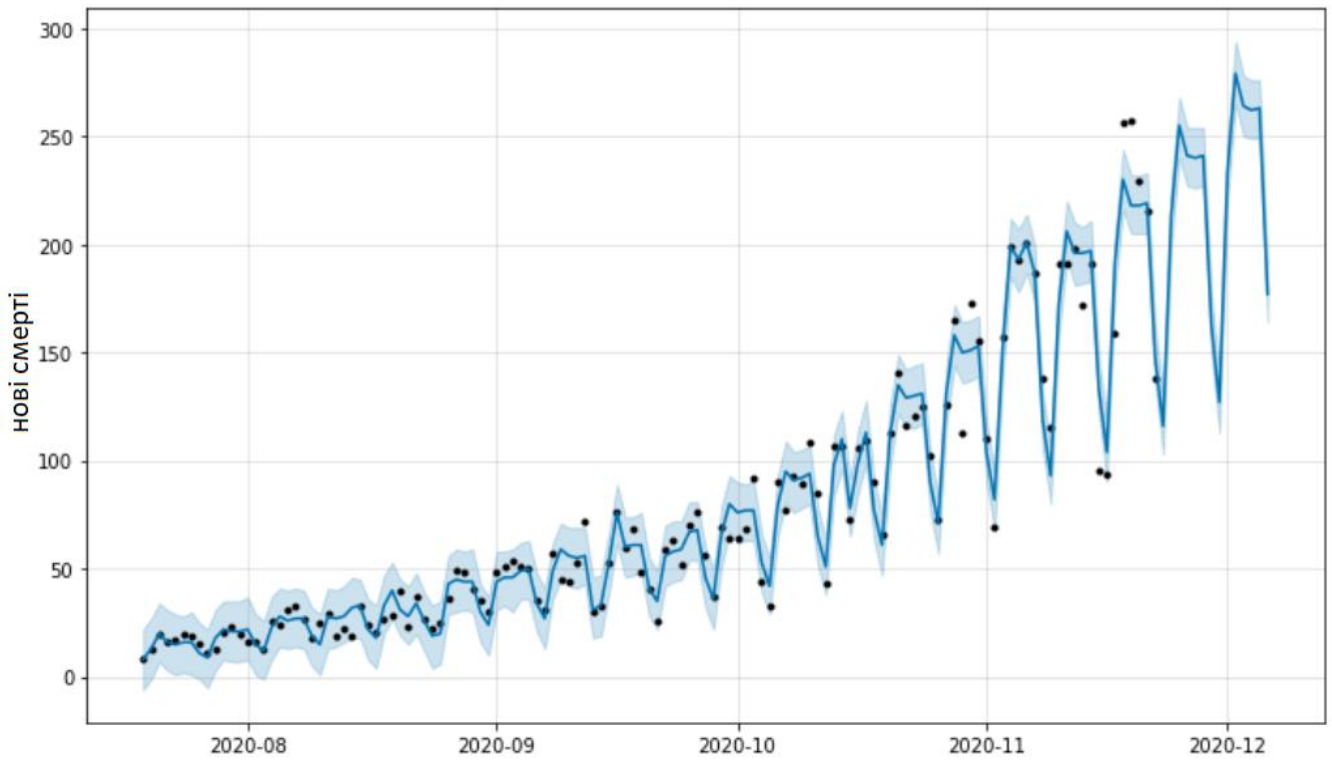
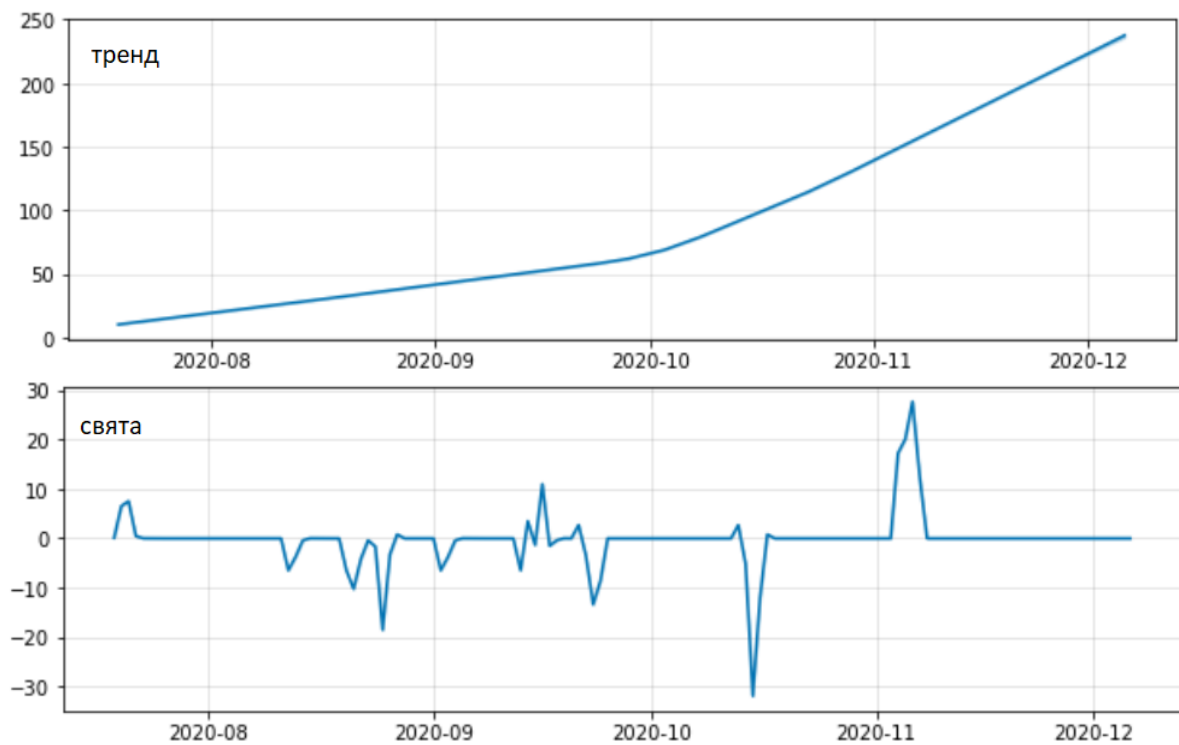


Рис. 32. Щоденна кількість смертельних випадків хворих на covid-19 в Україні з 6 липня 2020 р.: чорні крапки – дані спостережень до 22.11.2020 р., синя лінія – результат моделювання і прогнозування на 2 тижні до 6.12.2020 р. за моделлю на основі Facebook Prophet з авторським алгоритмом налаштування параметрів, з урахуванням впливу аномальних дат (відносна похибка прогнозування 2-х останніх тижнів спостережень – 13,8%)



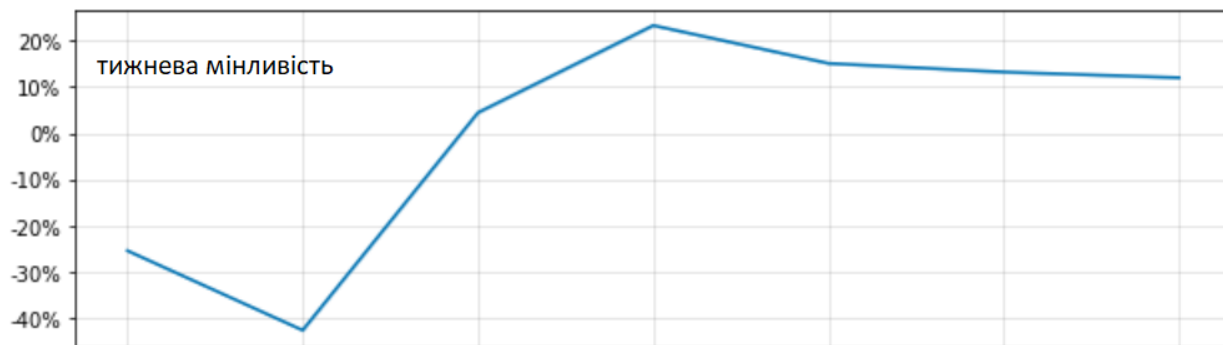


Рис. 33. Складові моделі на рис. 32 для моделювання та прогнозування щоденної кількості смертельних випадків хворих на covid-19 в Україні з 6 липня 2020 р.: а) основний тренд, б) динаміка впливу аномальних дат (державних свят, дуже теплих днів без опадів та дат послаблення карантину) зі зсувом у 3 тижні (додаються до основного тренду); в) тижнева мінливість

Таблиця 8 Прогноз кількості смертельних випадків хворих на covid-19 в Україні за моделлю з урахуванням впливу аномальних дат

Дата	Нижня межа довірчого інтервалу, кількість випадків	Прогнозоване значення, кількість випадків	Верхня межа довірчого інтервалу, кількість випадків
23.11.2020	103	116	129
24.11.2020	199	213	228
25.11.2020	240	255	268
26.11.2020	227	241	254
27.11.2020	226	240	254
28.11.2020	227	241	254
29.11.2020	149	163	177
30.11.2020	113	127	141
01.12.2020	220	233	248
02.12.2020	265	279	294
03.12.2020	250	264	278
04.12.2020	249	262	276
05.12.2020	249	263	276
06.12.2020	164	177	191

Для України вплив свят виявився не досить впливовим, у порівнянні, наприклад з такими країнами Швеція, Франція, Іспанія, де модель з урахуванням свят і псевдосвят має похибку майже удвічі меншу, ніж модель без урахування таких аномальних дат. В Україні ж спрощена модель з урахуванням аномальних дат дає похибку 2,55%, а без їх урахування – 2,57%.

Виявлено, що, окрім тижневої мінливості, має місце ще й 4-денна сезонність, яка теж демонструє нелінійне зростання, причому, саме зростання має місце кожні 2 доби – її урахування дозволило знизити похибку з 2,38% до 2,2%. Що означає, що має місце додаткова сукупність факторів, що прискорює вплив ще швидше, ніж за кожні 7 днів.

Має місце нелінійне зростання кількості летальних випадків з кожним тижнем, але часто трапляються аномальні значення, які не можна пояснити впливом аномальних дат, навіть взятих із значно більшим зсувом, ніж у випадку прогнозування нових підтверджених випадків захворювань. Вплив аномальних дат (із 3-тижневим зсувом) може мати досить значний вплив.

Отримана похибка 13,8% є досить значною, для не достатньої впевненості в отриманих результатах і потребує подальшого уточнення. Той факт, що в моделях не здійснювався повний

перебір усіх можливих значень параметрів, не враховувалась явно динаміка інших факторів (наприклад, наростання кількості тестувань чи кількості ліжокмісць), на жаль, не дає впевненості в тому, що ці моделі можна використовувати для довгострокового прогнозування та в тому, що отримані результати дають остаточні відповіді на поставлені питання.

Обчислення за допомогою моделі Prophet та аналіз отриманих результатів виконали завідувач кафедри системного аналізу та інформаційних технологій (САІТ) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ), д.т.н., професор Мокін В.Б. та аспірант кафедри САІТ ВНТУ Лосенко А.В.

4. Прогноз розвитку епідемії в Україні з використанням компартментної моделі.

Обчислення прогностичних змінних здійснюються для окремих регіонів, а не для України в цілому, а значення для всієї країни обчислюються як сума всіх її регіонів. У таблиці 9 наведено середні прогностичні результати прогнозів для областей України на період до 30 листопада та до 7 грудня. Прогнози не враховують впливу зміни кількості тестувань, кількості підозр і рішень щодо змін карантинних обмежень. При обчисленнях вважалося, що репродуктивне число та коефіцієнт летальності залишаються сталими впродовж прогностичного періоду. Репродуктивне число й коефіцієнт летальності обчислювалися з алгоритму калібрування математичної моделі, а для прогностичного сценарію використовувалися середні значення за останній тиждень.

Для врахування можливої зміни кількості контактів у часі було додатково розглянуто два сценарії для кожної області: з поступовим збільшенням рівня контактності на 25% та зменшенням на 25%. Зміна відбувалася поступово протягом тижня. У таблиці 5 наведено прогностичні середні рівні виявлення нових інфікованих на день і діапазон їхніх значень на 30 листопада 2020 року. Наведено також оцінку середнього за тиждень значення репродуктивного числа для кожного регіону, що використовувалося для обчислення прогнозу.

Таблиця 9. Прогностичні значення нових інфікованих за день для регіонів України на 30.11.2020 р. та поточна оцінка репродуктивного числа

Область	Середнє значення прогнозу на 30.11	Інтервал	R (на 23.11)	Середнє значення прогнозу на 07.12
Вінницька область	238	189-289	1.03	245
Волинська область	502	398-611	1.11	565
Дніпропетровська область	2068	1527-2541	1.38	3674
Донецька область	474	377-576	1	484
Житомирська область	669	532-814	1.06	715
Закарпатська область	269	215-326	0.93	244
Запорізька область	884	703-1076	1.03	990
Івано-Франківська область	614	488-746	1.02	642
Київська область	1223	968-1495	1.21	1607
Кіровоградська область	109	87-133	1.13	121
Луганська область	64	51-78	0.87	55
Львівська область	631	502-767	1.03	684
Миколаївська область	497	394-606	1.13	601
м. Київ	1662	1317-2029	1.17	2070
Одеська область	732	582-890	1.01	782

Полтавська область	559	444-680	1.08	621
Рівненська область	475	378-577	1.03	497
Сумська область	1010	799-1235	1.23	1371
Тернопільська область	399	316-488	1.18	506
Харківська область	431	345-522	0.83	360
Херсонська область	259	206-315	1.02	278
Хмельницька область	505	402-614	1	512
Черкаська область	1325	1043-1627	1.31	2372
Чернівецька область	482	383-586	1.02	503
Чернігівська область	1036	813-1277	1.58	1999
Україна в цілому	14684	11864-17504	1.11	17644

Згідно із розглянутими сценаріями, регіонами з найбільшою очікуваною кількістю інфікованих є Дніпропетровська, Київська, Сумська, Черкаська, Чернігівська області та місто Київ.

Якщо додати результати моделювання по всіх регіонах, то для України в цілому отримаємо такі прогнозні числові показники:

Репродуктивне число – **1.11** (середнє за останній тиждень, має нейтральну тенденцію)

Кількість нових інфекцій за день на 30.11: [11864-17504] при середньому значенні **14684**.

Кількість нових летальних випадків за день на 30.11: [208-268] при середньому значенні **238**.

Кількість нових інфекцій за день на 07.12: [12115-23173] при середньому значенні **17644**.

Кількість нових летальних випадків за день на 07.12: [246-316] при середньому значенні **281**.

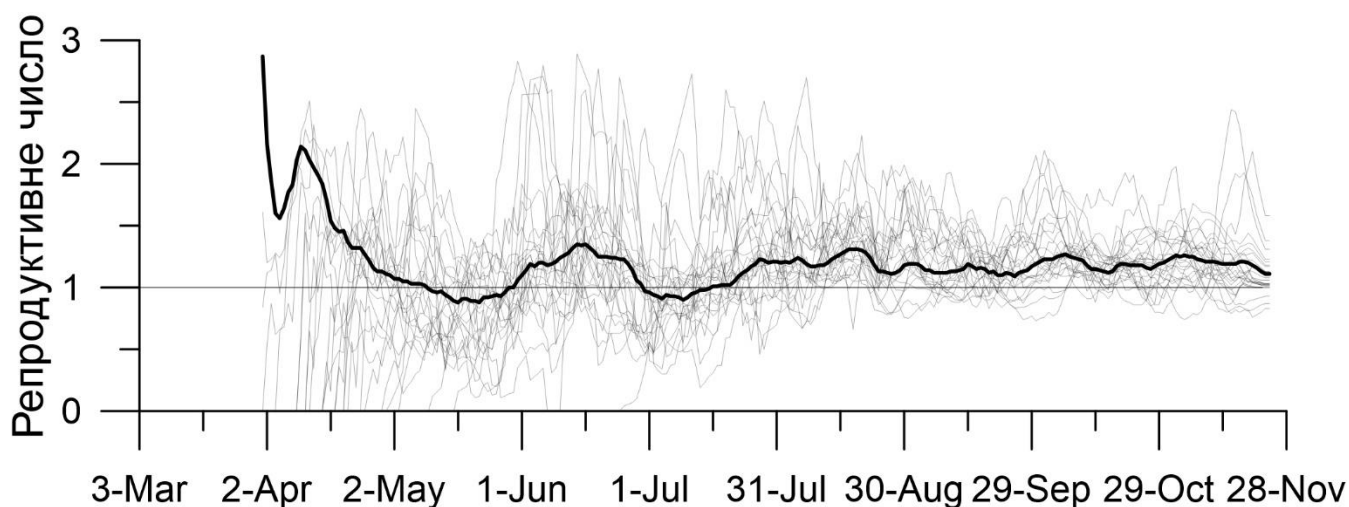


Рис.34. Зміна в часі репродуктивного числа згідно з калібруванням математичної моделі SEIR-U

На рис.34 показано зміну в часі репродуктивного числа для України в цілому, отриману в результаті калібрування математичної моделі на статистичних даних. Тонкими лініями показано оцінки репродуктивного числа для різних областей. На цей момент середньотижневє значення склало 1.11. При прогнозуванні тенденція до зміни репродуктивного числа не враховувалася. Прогнозні сценарії обчислювалися зі сталим середньотижневим значенням репродуктивного

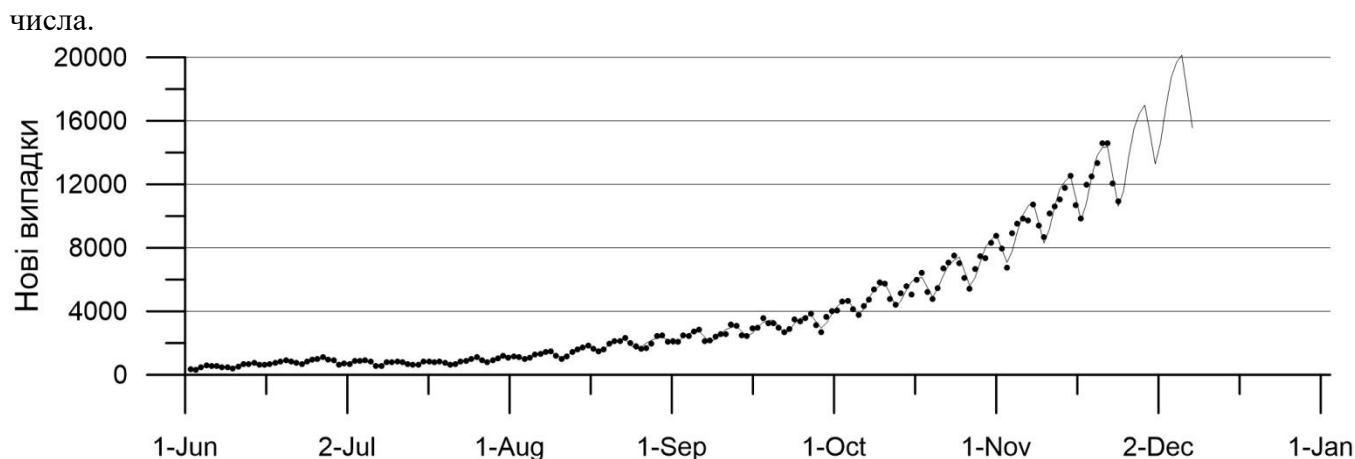


Рис. 35 Прогнозні значення кількості нових випадків для України з урахуванням тижневої мінливості. Крапками позначено дані спостережень станом на 23.11.2020, лінією позначено модельні обчислення для періоду калібрування (25.03-23.11) та для прогнозного періоду.

Таблиця 10. Прогнозні значення кількості нових випадків за результатами обчислень статистичною моделлю Prophet та компартментною моделлю SEIR-U.

Дата	Середні прогнозні значення статистичної моделі Prophet	Середні прогнозні значення компартментної моделі SEIR-U
23.11.2020	11229	
24.11.2020	13799	11575
25.11.2020	14501	13738
26.11.2020	14827	15530
27.11.2020	16008	16465
28.11.2020	16723	16999
29.11.2020	14073	15193
30.11.2020	12523	13286
01.12.2020	15346	14649
02.12.2020	16495	16879
03.12.2020	16879	18748
04.12.2020	17768	19659
05.12.2020	18483	20139
06.12.2020	15906	17885
07.12.2020		15547

Таблиця 9 демонструє порівняння прогнозних значень кількості нових випадків на період до 7-го грудня, що обчислені за допомогою двох незалежних моделей: статичної моделі Facebook Prophet та компартментної моделі SEIR-U. Відмітимо, що компартментна модель прогнозує незначно менші значення нових випадків на початку прогнозного інтервалу, але має більші темпи зростання, що призводить до більших значень наприкінці прогнозного інтервалу. В цілому моделі виявилися добре узгоджені. Слід зазначити, що похибка передбачень значно зростає із збільшенням інтервалу прогнозування, тому до отриманих результатів необхідно ставитись з обережністю.

ВИСНОВКИ

1. Темпи поширення епідемії в Україні за останній тиждень незначно знизилися, що призвело до дещо менших значень як нових виявлень, так і нових летальних випадків порівняно з очікуваними. Репродуктивне число зменшилося на 1.7%, середньотижневое значення за останній тиждень склало 1.11. Для прогнозування кількості нових випадків було використано дві незалежні математичні моделі: статистичну та компартментну. Згідно обчислень, середня кількість нових випадків буде дорівнювати 14636 (Prophet) та 14684 (SEIR-U) протягом тижня 23 – 30 листопада, та 16968 (Prophet) та 17644 (SEIR-U) протягом тижня 1 – 7 грудня. Детальніше прогноз представлений у таблицях 7-10, та на рисунках 30-35.
2. Дані про надлишкову смертність демонструють сумісну картину про те, що щоденна статистика про летальні випадки від COVID-19 охоплює лише 25-30% від всієї смертності, пов'язаної з цією хворобою. Попри мінливість показників загальної смертності, ця частка демонструє стійке значення у регіонах України (рис. 7).
3. Спостережувана летальність демонструє консервативну поведінку та лишається на рівні 1,5-2% (рис. 19). Разом з тим, число летальних випадків останнім часом зростало повільніше, ніж число випадків хвороби. Частка завершених випадків хвороби продемонструвала суттєве зростання для дат реєстрацій у серпні та вересні (рис. 20).
4. Частка інфікованих, які потребують госпіталізації, на цей момент становить близько 11.8% для України в цілому і продовжує незначне спадання (рис.29), хоча є досить неоднорідною для областей України (таблиця 4).
5. Відсоток виявлення нових інфікованих за допомогою ПЛР-тестів продовжує довготривалу тенденцію до зростання. Середнє значення за останній тиждень збільшилося до 33% порівняно з 23% десять днів тому. Цей показник дуже різний для регіонів України, при тому, що до загальної кількості тестів входять як повторні тестування, так і тестування при одужанні.