

середовищі. Ці чинники дозволяють наблизити модельні ситуації до реальних задач, що дає змогу дослідникам отримувати експериментальні моделі, наближені до натурних.

Список використаної літератури

1. Ярмілко А. В. Web-сервіс для дослідження динаміки автономних самокерованих модулів у процесі моделювання консолідованого руху / А. В. Ярмілко, В. С. Нікітюк // Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси (ІМТСК-2020) / Матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції (Черкаси, 27-29 травня 2020 р.). – Черкаси: ЧНУ, 2020. – С. 19-21.

2. Дрюк А. Д. Стохастические модели и методы субоптимальной маршрутизации сложных объектов / А. Д. Дрюк, Е. И. Кучеренко // Бионика интеллекта: науч.-техн. журн. – Х. : Изд-во ХНУРЭ, 2013. – Вып. (80). – С. 45–53.

Науковий керівник: старший викладач к.т.н. Ярмілко А. В.

Шевченко К. Г., Бушин І. М.

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АДАПТИВНОГО КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕПІДЕМІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

В наш час все ще залишається багато хвороб, які важко або неможливо вилікувати. Виникає багато епідемій. Зараз весь світ сколихнула пандемія коронавірусної інфекції. Тому стає актуальним мати можливість передбачати подальший розвиток епідеміологічних процесів, тобто – здійснювати прогнозування.

Для здійснення прогнозування можна використати такі методи адаптивного короткострокового прогнозування, як методи Хольта, Брауна та Бокса-Дженкінса. Початок розвитку методів адаптивного прогнозування покладений роботою Ч. Хольта, що з'явилася в 1957 році. В ній розглядалася проблема експоненційного згладжування. Найбільш повно це питання було вивчено Р. Г. Брауном.

Методи експоненційного згладжування завдяки роботам Хольта та Брауна стали ефективним та зручним інструментом прогнозування в економіці. В основному, експоненційне згладжування використовується для прогнозування рядів попиту та для управління ресурсами. Р. Браун вказує, що завдяки цим методам прогнозування «в трьох дюжинах компаній», з якими він працював, вдалося скоротити витрати на матеріально-технічне постачання приблизно на 150 млн. дол. при поліпшенні обслуговування. С. Ейлону і Дж. Елмалеху, що розробили систему постачання, вдалося завдяки адаптивним моделям зменшити витрати на 30%. А. Моррелл, який брав участь в обговоренні роботи Д. Варда, вважає, що експертний прогноз попиту дає в середньому помилку 40%, а метод Брауна дозволяє її зменшити приблизно на 30%. У роботі Р. Маркланда адаптивні моделі використовуються при істотно змінних умовах протікання процесу і робиться висновок про те, що застосування експоненціального згладжування цілком прийнятно для безперервного оновлення нормативної бази. Цей метод може бути використаний як для прогнозування деяких глобальних показників, так і в системах управління різного рівня. Головний недолік цих методів в тому, що вони розглядають часовий ряд ізольовано від інших явищ, і якщо навіть є додаткова інформація, вона може бути використана дослідником лише шляхом регулювання швидкості адаптації. Крім того, точність прогнозів помітно падає при довгостроковому прогнозуванні [1].

Експоненціальна середня призводить до зміщених прогнозів, тобто дає систематичну помилку, коли часовий ряд має тенденцію лінійного росту. Для цього випадку розроблено кілька варіантів адаптивних моделей – моделі Хольта, Брауна та Бокса-Дженкінса.

Прогнозування часового ряду методами адаптивного короткострокового прогнозування здійснюється за формулою:

$$y_{t+k} = a_t + b_t \cdot k,$$

де a_t – параметр згладжування даних, b_t – параметр згладжування тренда, k – період прогнозування.

Однією з перших адаптивних моделей була двопараметрична модель Ч. Хольта. Параметри для моделі Хольта розраховуються за формулами:

$$a_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (a_{t-1} + b_{t-1}),$$

$$b_t = \beta \cdot (a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot b_{t-1},$$

де α, β – коефіцієнти згладжування.

Окремим випадком моделі Хольта є модель лінійного росту Брауна. Параметри для моделі подвійного згладжування Брауна розраховуються за формулами:

$$a_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (a_{t-1} + b_{t-1}),$$

$$b_t = \alpha \cdot (a_t - a_{t-1}) + (1 - \alpha) \cdot b_{t-1},$$

де α – коефіцієнт згладжування.

Якщо модель Хольта вдосконалити шляхом включення різниці помилок прогнозування, то отримаємо повну трипараметричну модель прогнозування Дж. Боксу і Г. Дженкінса. Параметри для моделі Бокса-Дженкінса розраховуються за формулами:

$$a_t = \alpha_1 \cdot y_t + (1 - \alpha_1) \cdot (a_{t-1} + b_{t-1}) + \alpha_3 \cdot (e_t - e_{t-1}),$$

$$b_t = \alpha_2 \cdot (a_t - a_{t-1}) + (1 - \alpha_2) \cdot b_{t-1},$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коефіцієнти згладжування, e_t – помилка прогнозування.

П. Харрісон провів емпіричне порівняння однопараметричної моделі Брауна з багатопараметричними моделями. Багатопараметричні моделі ні в одному випадку не дали помітної переваги. Тому на практиці для прогнозування рядів з лінійною тенденцією краще використовувати більш просту модель Брауна. З теоретичного зіставлення різних моделей, проведеного П. Харрісоном і Д. Вардом, слідує аналогічний висновок.

До позитивних рис методу Брауна можна віднести наступні: логічна та зрозуміла концепція; оптимальне значення єдиного параметра можна швидко знайти емпіричним шляхом; коефіцієнти моделі прогнозування оцінюються спільно таким чином, щоб зменшити автокореляцію в залишках. Все це робить модель Брауна такою, що легко застосовується [1].

Перевагою моделі Бокса-Дженкінса є те, що модель включає різницю помилок прогнозування при здійсненні прогнозування. Це дає можливість враховувати похибку вимірювання на попередньому кроці прогнозування для знаходження найбільш оптимальних значень параметрів згладжування.

Було виведено нову модель адаптивного короткострокового прогнозування, яка містить в собі переваги моделей подвійного згладжування Брауна та Бокса-Дженкінса. Параметри для нової моделі розраховуються за формулами:

$$a_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (a_{t-1} + b_{t-1}) + (\alpha/2) \cdot (e_t - e_{t-1}),$$

$$b_t = \alpha \cdot (a_t - a_{t-1}) + (1 - \alpha) \cdot b_{t-1},$$

де α – коефіцієнт згладжування, e_t – помилка прогнозування.

проведені експерименти з використанням методів адаптивного короткострокового прогнозування.

Для початкових даних було обрано нові випадки коронавірусної інфекції в Україні за період з 1 вересня по 12 грудня 2020 року [2].

На рис. 1 показано розрахунки параметрів та прогнозу методом Хольта. Значення коефіцієнтів згладжування дорівнює $\alpha = 0.3$ та $\beta = 0.3$.

	A	B	C	D	E	F
1	Date	New cases (real)	Згладжування даних, a(i)	Згладжування тренда, b(i)	Прогноз, y(i)	Похибка прогнозу, e(i)
2			2147	0	2147	0
3	2020-09-01	2147	2147	0	2147	0
4	2020-09-02	2554	2269,1	36,63	2147	407
5	2020-09-03	2467	2302,829	35,7597	2305,73	320
6	2020-09-04	2769	2417,64851	59,477643	2338,5887	463,27
7	2020-09-05	2897	2519,819607	72,28567917	2477,126153	558,4113
8	2020-09-06	2205	2374,773749	7,086218172	2592,105286	-272,126153
9	2020-09-07	2253	2333,281272	-7,487390543	2381,859968	-339,1052861
10	2020-09-08	2490	2385,538064	10,43586417	2325,793881	108,1400324
11	2020-09-09	2597	2441,67154	24,14514771	2395,973928	271,2061187
12	2020-09-10	2635	2482,768474	29,23068381	2465,816687	239,0260721
13	2020-09-11	3227	2685,576453	81,30387237	2511,999158	761,1833126
14	2020-09-12	3185	2778,490807	84,78701666	2766,880326	673,0008418
15	2020-09-13	2564	2654,792653	22,24146556	2863,277823	-202,8803258
16	2020-09-14	2557	2609,885831	2,09697935	2677,034119	-306,2778234
17	2020-09-15	2999	2725,152196	36,04779507	2611,982811	321,9658814
18	2020-09-16	3016	2787,173081	43,83972192	2761,199991	404,0171894
19	2020-09-17	3679	3024,033351	101,7458865	2831,012803	917,8000086
20	2020-09-18	3330	3044,601225	77,39248275	3125,779238	498,9871972
21	2020-09-19	3345	3080,54612	64,95820626	3121,993708	219,2207623
22	2020-09-20	3071	3032,211539	30,97037028	3145,504326	-50,99370812
23	2020-09-21	2781	2935,168818	-7,433557115	3063,18191	-364,5043261
24	2020-09-22	2990	2956,821663	1,292363353	2927,735261	-73,18190978
25	2020-09-23	3598	3148,27051	58,33930838	2958,114026	670,2647387
26	2020-09-24	3478	3206,351841	58,26191524	3206,609818	519,8859738
27	2020-09-25	3665	3303,162948	69,82667278	3264,613756	458,3901819
28	2020-09-26	3935	3443,835393	91,08040435	3372,989621	670,3862439
29	2020-09-27	3233	3316,828492	25,65421279	3534,915797	-139,9896208
30	2020-09-28	2780	3137,821995	-35,74399999	3342,482705	-754,915797
31	2020-09-29	3730	3340,496197	35,78146043	3102,077995	387,5172954
32	2020-09-30	4137	3554,400315	89,21825791	3376,277657	1034,922005

Рисунок 1 – Прогнозування методом Хольта

Після здійснення розрахунків було побудовано графік для порівняння реальних даних та прогнозованих значень методом Хольта. На рис. 2 зображено побудований графік. Синім кольором показано реальні значення, а червоним – значення прогнозу.

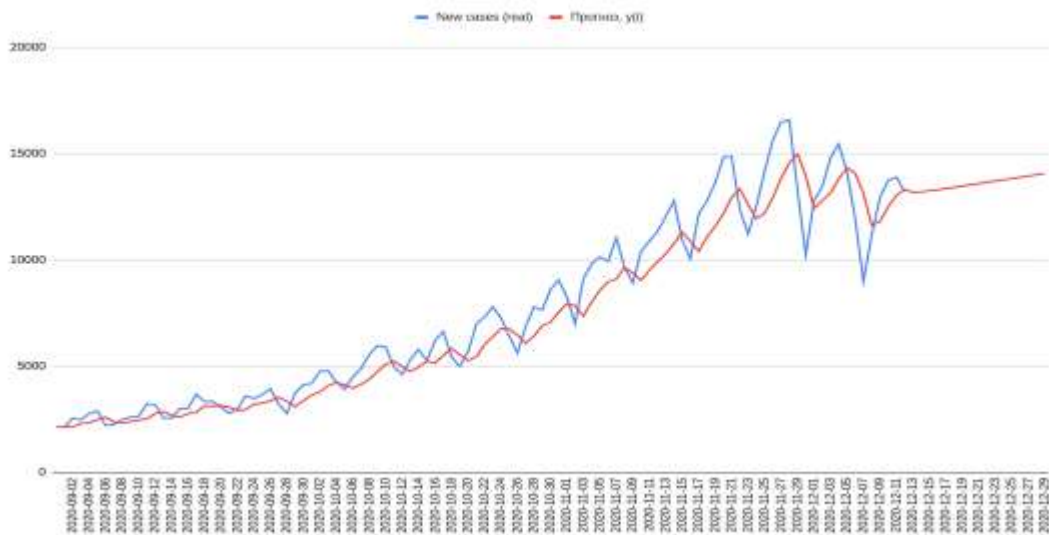


Рисунок 2 – Порівняння реальних та прогнозованих даних методом Хольта

На рис. 3 показано розрахунки параметрів та прогнозу методом Брауна. Значення коефіцієнта згладжування дорівнює $\alpha = 0.3$.

	A	B	C	D	E	F
1	Date	New cases (real)	Згладжування даних, a(i)	Згладжування тренда, b(i)	Прогноз, y(i)	Похибка прогнозу, e(i)
2			2147	0	2147	0
3	2020-09-01	2147	2147	0	2147	0
4	2020-09-02	2554	2269,1	36,63	2147	407
5	2020-09-03	2467	2354,111	51,1443	2305,73	320
6	2020-09-04	2769	2514,37871	83,881323	2405,2553	463,27
7	2020-09-05	2897	2687,882023	110,76792	2598,260033	491,7447
8	2020-09-06	2205	2620,55496	57,33942515	2798,649943	-393,260033
9	2020-09-07	2253	2550,42607	19,09893047	2677,894385	-545,6499431
10	2020-09-08	2490	2545,6675	11,94168045	2569,525	-187,8943853
11	2020-09-09	2597	2569,426426	15,4868542	2557,609181	27,47499979
12	2020-09-10	2635	2599,939296	19,99465894	2584,913281	77,39081941
13	2020-09-11	3227	2802,053769	74,63060296	2619,933955	642,0867194
14	2020-09-12	3185	2969,17906	102,3790095	2876,684372	565,0660446
15	2020-09-13	2564	2919,290649	56,69878323	3071,55807	-312,6843717
16	2020-09-14	2557	2850,292602	18,98973435	2975,989432	-514,5580697
17	2020-09-15	2999	2908,197636	30,66432404	2869,282337	23,01056798
18	2020-09-16	3016	2962,003372	37,60674766	2938,86196	146,7176632
19	2020-09-17	3679	3203,427084	98,7518369	2999,61012	740,1380402
20	2020-09-18	3330	3310,525244	101,2557341	3302,178921	330,3898805
21	2020-09-19	3345	3391,746685	95,24544599	3411,780978	42,82107944
22	2020-09-20	3071	3362,194492	57,80615421	3486,992131	-340,7809784
23	2020-09-21	2781	3228,300452	0,2960960869	3420,000646	-705,9921309
24	2020-09-22	2990	3157,017584	-21,17759325	3228,596548	-430,0006458
25	2020-09-23	3598	3274,487993	20,41680761	3135,83999	369,4034518
26	2020-09-24	3478	3349,833361	36,89537552	3294,904801	342,1600095
27	2020-09-25	3665	3470,210115	61,93978927	3386,728736	370,0951991
28	2020-09-26	3935	3653,004933	98,19629785	3532,149905	548,2712638
29	2020-09-27	3233	3595,740862	51,55818706	3751,201231	-299,1499046
30	2020-09-28	2780	3387,109334	-26,49872734	3647,299049	-971,2012311
31	2020-09-29	3730	3471,427425	6,74631805	3360,610607	82,70095119
32	2020-09-30	4137	3675,82162	66,0406812	3478,173743	776,3893932

Рисунок 3 – Прогнозування методом Брауна

Після здійснення розрахунків було побудовано графік для порівняння реальних даних та прогнозованих значень методом Брауна. На рис. 4 зображено побудований графік. Синім кольором показано реальні значення, а червоним – значення прогнозу.

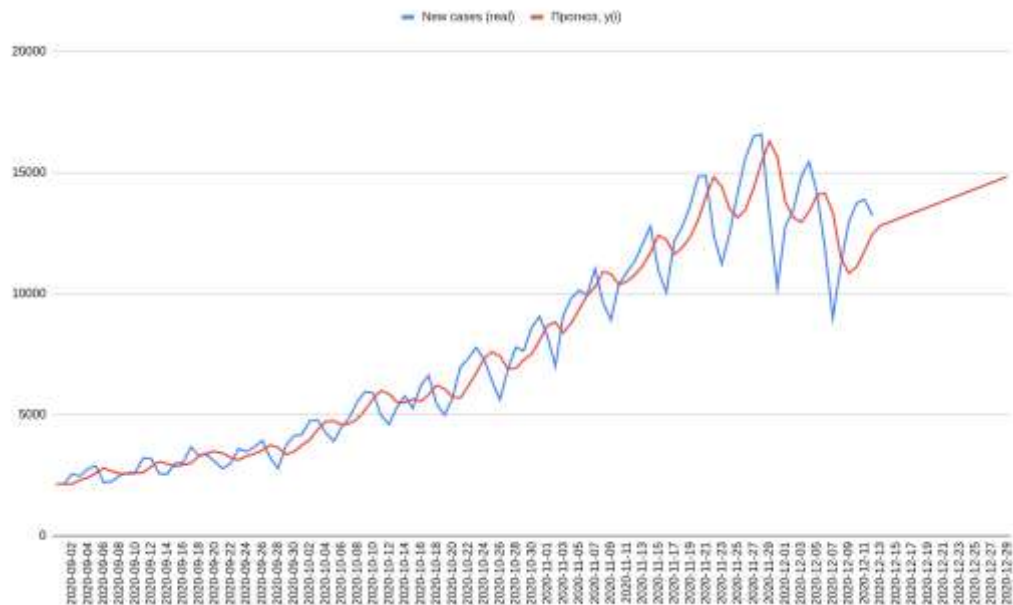


Рисунок 4 – Порівняння реальних та прогнозованих даних методом Брауна

На рис. 5 показано розрахунки параметрів та прогнозу методом Бокса-Дженкінса. Значення коефіцієнтів згладжування дорівнює $\alpha_1 = 0.3$, $\alpha_2 = 0.3$ та $\alpha_3 = 0.01$.

	A	B	C	D	E	F
1	Date	New cases (real)	Згладжування даних, a(i)	Згладжування тренда, b(i)	Прогноз, y(i)	Похибка прогнозу, e(i)
2			2147	0	2147	0
3	2020-09-01	2147	2147	0	2147	0
4	2020-09-02	2554	2273,17	37,851	2147	407
5	2020-09-03	2467	2356,9447	51,62811	2311,021	320
6	2020-09-04	2769	2518,080757	84,4804941	2408,57281	457,979
7	2020-09-05	2897	2691,197358	111,0713261	2602,561251	488,42719
8	2020-09-06	2205	2614,228194	54,65917921	2802,268684	-397,5612511
9	2020-09-07	2253	2542,604087	16,77419331	2668,887373	-549,2686837
10	2020-09-08	2490	2542,268609	11,641292	2559,37828	-178,8873734
11	2020-09-09	2597	2569,002022	16,16892816	2553,909901	37,62171963
12	2020-09-10	2635	2600,554349	20,78394779	2585,17095	81,09009863
13	2020-09-11	3227	2808,644197	76,97571795	2621,338297	641,82905
14	2020-09-12	3185	2974,652267	103,6854236	2885,619915	563,6617034
15	2020-09-13	2564	2915,183567	54,73918654	3078,337691	-321,6199151
16	2020-09-14	2557	2844,04875	16,97698537	2969,922754	-521,3376907
17	2020-09-15	2999	2907,922164	31,045914	2861,025735	29,07724619
18	2020-09-16	3016	2963,336625	38,35647803	2938,968078	154,9742647
19	2020-09-17	3679	3210,735749	101,0692717	3001,693103	740,0319219
20	2020-09-18	3330	3313,146264	101,4716448	3311,80502	328,3068971
21	2020-09-19	3345	3390,781417	94,3206973	3414,617909	33,19497967
22	2020-09-20	3071	3357,103351	55,92106834	3485,102114	-343,6179088
23	2020-09-21	2781	3219,812252	-2,042582024	3413,024419	-704,1021143
24	2020-09-22	2990	3152,249546	-21,6986192	3217,76967	-423,0244195
25	2020-09-23	3598	3278,818196	22,78156167	3130,550926	380,2303305
26	2020-09-24	3478	3354,192018	38,55923971	3301,599758	347,4490736
27	2020-09-25	3665	3474,585392	63,10948004	3392,751258	363,4002423
28	2020-09-26	3935	3658,674895	99,40348706	3537,694872	542,2487425
29	2020-09-27	3233	3592,085432	49,6056018	3758,078382	-304,694872
30	2020-09-28	2780	3376,449888	-29,96674174	3641,691033	-978,0783825
31	2020-09-29	3730	3472,202076	7,748937123	3346,483147	88,30896663
32	2020-09-30	4137	3684,087788	68,9899696	3479,951013	790,5168535

Рисунок 5 – Прогнозування методом Бокса-Дженкінса

Після здійснення розрахунків було побудовано графік для порівняння реальних даних та прогнозованих значень методом Бокса-Дженкінса. На рис. 6 зображено побудований графік. Синім кольором показано реальні значення, а червоним – значення прогнозу.

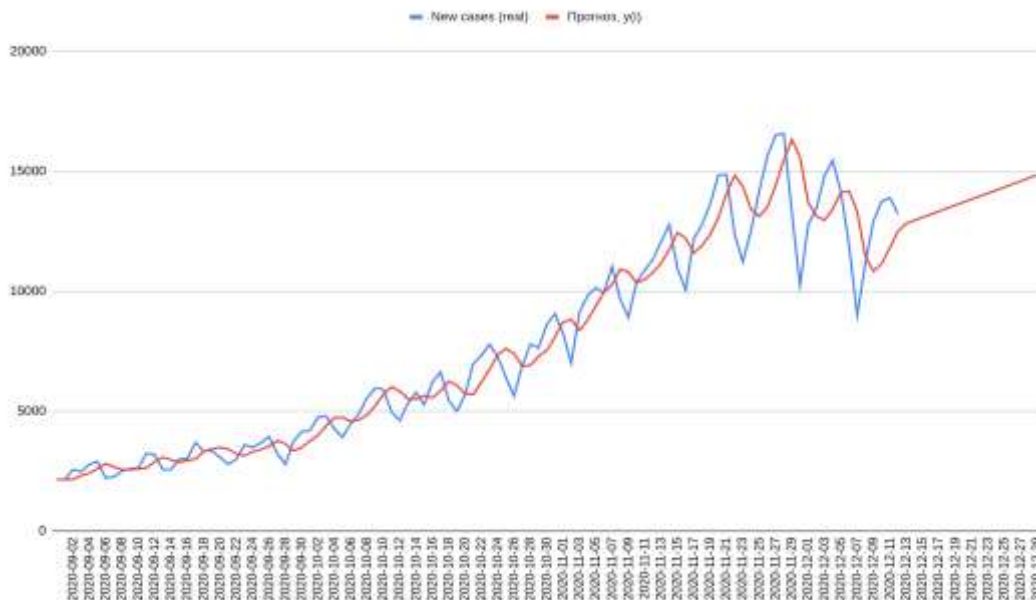


Рисунок 6 – Порівняння реальних та прогнозованих даних методом Бокса-Дженкінса

На рис. 7 показано розрахунки параметрів та прогнозу новим методом. Значення коефіцієнта згладжування дорівнює $\alpha = 0.3$.

	A	B	C	D	E	F
1	Date	New cases (real)	Згладжування даних, a(i)	Згладжування тренда, b(i)	Прогноз, y(i)	Похибка прогнозу, e(i)
2			2147	0	2147	0
3	2020-09-01	2147	2147	0	2147	0
4	2020-09-02	2554	2330,15	54,945	2147	407
5	2020-09-03	2467	2396,6165	58,40145	2385,095	320
6	2020-09-04	2769	2558,798315	89,5355595	2455,01795	383,905
7	2020-09-05	2897	2731,64527	114,528978	2648,333875	441,98205
8	2020-09-06	2205	2521,024585	16,98407915	2846,174248	-443,3338745
9	2020-09-07	2253	2430,030009	-15,40951739	2538,008664	-593,1742477
10	2020-09-08	2490	2519,009182	15,90708966	2414,620491	-48,00866386
11	2020-09-09	2597	2588,099616	31,86209302	2534,916271	182,3795087
12	2020-09-10	2635	2612,128829	29,51222914	2619,961709	100,0837288
13	2020-09-11	3227	2893,291925	105,0074892	2641,641058	607,0382913
14	2020-09-12	3185	3044,757688	118,9449712	2998,299414	543,3589417
15	2020-09-13	2564	2837,143108	20,97710587	3163,702659	-434,2994144
16	2020-09-14	2557	2741,923663	-13,88185936	2858,120214	-606,7026588
17	2020-09-15	2999	2921,466629	44,14558836	2728,041804	140,8797864
18	2020-09-16	3016	3002,790314	55,29901723	2965,612218	287,9581965
19	2020-09-17	3679	3308,17697	130,3253088	3058,089331	713,3877824
20	2020-09-18	3330	3339,730028	100,6936336	3438,502278	271,9106689
21	2020-09-19	3345	3356,984621	75,66192147	3440,423662	-93,50227844
22	2020-09-20	3071	3282,764372	30,69727041	3432,646542	-369,4236615
23	2020-09-21	2781	3111,389718	-29,92430707	3313,461643	-651,6465424
24	2020-09-22	2990	3103,253522	-23,38787354	3081,465411	-323,4616426
25	2020-09-23	3598	3361,305389	61,0440485	3079,865649	516,5345894
26	2020-09-24	3478	3421,284571	60,72458841	3422,349438	398,1343511
27	2020-09-25	3665	3513,583843	70,19699361	3482,009159	242,6505625
28	2020-09-26	3935	3720,697627	111,2720309	3583,780837	452,9908411
29	2020-09-27	3233	3531,713009	21,19503612	3831,969658	-350,7808366
30	2020-09-28	2780	3215,857308	-79,92018493	3552,908045	-1051,969658
31	2020-09-29	3730	3498,515228	28,85324654	3135,937123	177,0919548
32	2020-09-30	4137	3833,853571	120,7987753	3527,368475	1001,062877

Рисунок 7 – Прогнозування новим методом

Після здійснення розрахунків було побудовано графік для порівняння реальних даних та прогнозованих значень новим методом. На рис. 8 зображено побудований графік. Синім кольором показано реальні значення, а червоним – значення прогнозу.

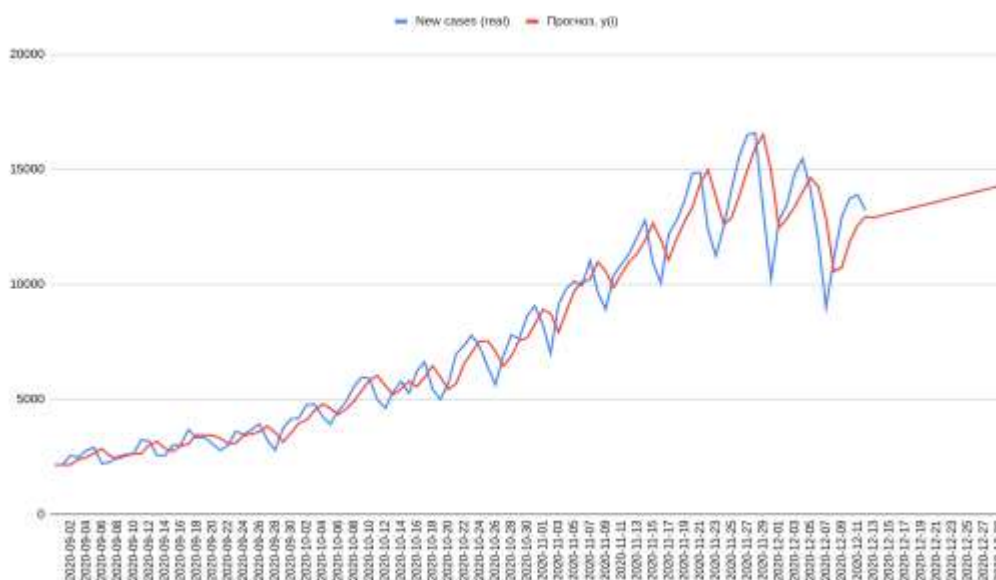


Рисунок 8 – Порівняння реальних та прогнозованих даних новим методом

В результаті проведених експериментальних досліджень, а саме: проведеному прогнозуванню методами Хольта, Брауна, Бокса-Дженкінса та новим методом, було отримано такі результати прогнозування (табл. 1):

Таблиця 1 – Порівняння результатів прогнозування різними методами адаптивного короткострокового прогнозування

Дата	Реальні дані	Прогноз методом Хольта	Прогноз методом Брауна	Прогноз методом Бокса-Дженкінса	Прогноз новим методом
2020-09-11	3227	2639.93	2639.93	2641.63	2651.71
2020-09-12	3185	2659.92	2659.92	2662.57	2681.27
2020-09-13	2564	2679.92	2679.92	2683.51	2710.83
2020-09-14	2557	2699.91	2699.91	2704.45	2740.39
2020-09-15	2999	2719.91	2719.91	2725.39	2769.94
2020-09-16	3016	2739.9	2739.9	2746.34	2799.5
2020-09-17	3679	2759.9	2759.9	2767.28	2829.06
2020-09-18	3330	2779.89	2779.89	2788.22	2858.62
2020-09-19	3345	2799.89	2799.89	2809.16	2888.18
2020-09-20	3071	2819.88	2819.88	2830.1	2917.74

З табличного порівняння результатів прогнозування різними методами та реальних даних за 20 вересня 2020 року слідє висновок, що новий метод дає кращі результати

прогнозування, ніж інші методи. Реальне значення нових випадків дорівнює 3071, похибка для методів Хольта та Брауна становить 251, для методу Бокса-Дженкінса – 241, а для нового методу – 153.

При порівнянні результатів експериментальних досліджень було виявлено, що прогнозування новим методом, який увібрав у себе найкращі показники методів Брауна та Бокса-Дженкінса, дає кращі результати, ніж інші використані методи адаптивного короткострокового прогнозування – методи Хольта, Брауна та Бокса-Дженкінса.

Список використаних джерел:

1. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. 416 с.
2. Covid-19-data [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://covid.ourworldindata.org/data/owid-covid-data.csv>