

УДК 622.8:331.4

С.В.Подкопасєв, Є.І.Конопелько, О.П.Когтєва, Ю.І.Сімонова
Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, Україна

**ПРО МОЖЛИВІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ТРАВМАТИЗМУ
ФОРМАЛІЗОВАНИМИ МЕТОДАМИ НА ПРИКЛАДІ
ДП «ШАХТА №3 ім.М. С. СУРГАЯ»**

Вугільна промисловість є найнебезпечнішою галуззю в Україні. Показники виробничого травматизму в галузі є одними з найвищих у світі. Прогнозування умов виникнення небезпечних ситуацій і стану безпеки, і, як наслідок, рівнів травматизму є однією з необхідних складових для вироблення оперативних і довгострокових заходів щодо зниження цього негативного явища. У роботі проаналізована можливість прогнозування рівнів виробничого травматизму формалізованими методами: експоненціального згладжування і ковзної середньої на прикладі обробки статистичних даних ДП «Шахта №3 ім.М.С.Сургая» за період з 1986 по 2016 роки. Встановлено, що прогнозування формалізованими методами можливе. Метод експоненціального згладжування дає гарні результати (середня похибка складає 5%) при відповідному використанні коефіцієнта α .

Ключові слова: вугільна промисловість, виробничий травматизм, методи прогнозування, коефіцієнт частоти травматизму, експоненціальне згладжування, ковзна середня, прогноз.

Вступ. У всіх країнах світу високий рівень виробничого травматизму є однією з основних проблем у вугільній промисловості. Порівняно з іншими галузями виробництва у вуглевидобувній галузі України реєструється надзвичайно високий рівень виробничого травматизму, відносна кількість травмованих у вугільній галузі, наприклад, в 2000...2013 роках становила 35...40 % від загальної кількості травмованих в країні. Вклад вугільної промисловості в структуру смертельного виробничого травматизму в 2016 році становив 18,7. Зниження цих показників конче необхідно оскільки вугілля є єдиним енергоносієм, що може забезпечити енергетичну незалежність країни. [6]

Отже проблема підвищення безпеки праці на підприємствах вугільної галузі за рахунок розроблення відповідних засобів і заходів залишається актуальною і потребує подальшого її розвитку в теоретичних і практичних аспектах. Одним із напрямків цієї проблеми є прогнозування рівнів аварійності, травматизму, профзахворюваності тощо.

Аналіз досліджень. На даний час рівень наукових досліджень з попередження виробничого травматизму на підприємствах вугільної промисловості характеризується різноманітністю підходів і методів. Особливого значення набуває проблема розроблення основ забезпечення безпеки з позицій комплексного аналізу виробничого травматизму, в тому числі з урахуванням його динамічного розвитку в галузі, регіоні, країні. Над цією проблемою працюють науковці у всіх країнах світу, пропонують теоретичні, методичні і практичні підходи до її вирішення. Проблема аварійності і травматизму в вугледобувній галузі вирішується в кожній країні по-своєму. Однак сфера можливих рішень завжди обмежена економічними, природними (гірничогеологічними) і науково-технічними можливостями. Найбільш перспективним підходом до вирішення цієї проблеми є прогнозування виробничого травматизму на основі системного і комплексного дослідження факторів його розвитку.[1-2]

Питанням, пов'язаним з прогнозуванням рівня виробничого травматизму на шахтах присвячена низка публікацій у вітчизняних та іноземних виданнях.

Розробка прогнозування в галузі охорони праці – складне завдання, що стало предметом уваги протягом останніх років. Центральне місце в даному питанні належить виробництву та його особливостям, що впливають на продуктивність, працездатність та загальний стан здоров'я працівників. Характеристики технологічних процесів та обладнання, так звані коригуючі елементи чи взаємодії, що регулюють вплив виробництва на організм людини складають разом прогнозовану систему. Перший компонент об'єкта прогнозу складають фактичні дані, другий компонент-обумовлений виробництвом травматизм, що відноситься до числа наслідків впливу на працюючих несприятливих умов праці. Умови праці, травматизм і захворюваність являють собою прогнозовану систему. Таким чином прогнозування в області охорони праці носить умовний характер і

відноситься до прогнозів розвитку виробництва. Значення має використання прогнозних характеристик в регулюванні розвитку і експлуатації виробництва з урахуванням інтересів здоров'я на основі оптимальних управлінських дій, що і складає головну мету прогнозування в охороні праці. На основі всіх обчислених коефіцієнтів та показників визначають динаміку виробничого травматизму, професійної та загальної захворюваності за відповідний період, яка дозволяє оцінити стан охорони праці на підприємстві, правильність обраних напрямків щодо забезпечення більш безпечних умов праці.

Процес і результати прогнозування діяльності можуть використовуватися в двох напрямках: теоретико-пізнавальному та управлінському. Теоретико-пізнавальне призначення стратегічного прогнозування передбачає вивчення та удосконалення методології і методики робіт зі складання прогнозів, виявлення тенденцій, характерних для розвитку економіки і соціальних відносин, факторів, що сприяють виникненню та здійсненню можливих змінних чинників, а також самих тенденцій. Управлінський аспект стратегічного прогнозування – це використання прогнозів економічного і соціального розвитку підприємства для створення необхідних умов, що забезпечують підвищення наукового рівня відповідних управлінських рішень.

Застосування системного підходу дозволяє найкращим чином організувати процес прийняття рішень на всіх рівнях в системі управління. Аналіз літературних джерел щодо прогнозування показників виробничого травматизму на різних рівнях (підприємство, галузь, країна) показав, що для прогнозування їх рівня досліджуються і пропонуються різні методичні підходи і математичні моделі. В основу прогнозування рівня виробничого травматизму на вугільних шахтах покладено розроблення математичної моделі, яка має в найбільшій мірі відповідати динаміці часового ряду або

залежності статистичних показників від різних факторів гірничого виробництва.

Методи досліджень. Метод прогнозування - це спосіб дослідження об'єкта прогнозування, спрямований на розробку прогнозу. В даний час існує близько 150 методів прогнозування, але практично використовуються близько 20-30 основних методів.[1]

Методика прогнозування - це сукупність спеціальних прийомів і правил розробки конкретних прогнозів. Прийом прогнозування - це математична або логічна операція, спрямована на отримання конкретних результатів в процесі розробки прогнозів.

Класифікація методів прогнозування здійснюється за трьома основними ознаками:

- за ступенем формалізації методів;
- за загальним принципом дії;
- за способом отримання прогнозованої інформації.[1]

За ступенем формалізації методи прогнозування поділяються на формалізовані і інтуїтивні.

Формалізовані методи використовуються в тому випадку, коли інформація про об'єкт прогнозування носить в основному кількісний характер, а вплив різних чинників можна описати за допомогою математичних формул.

Інтуїтивні методи застосовуються тоді, коли інформація кількісного характеру про об'єкт прогнозування відсутня або носить в основному якісний характер і вплив факторів неможливо описати математично.

Багато фахівців-експертів вважають, що стан вугільної промисловості у теперішній час такий, що прогнозування формалізованими методами рівнів травматизму неможливе і треба використовувати інтуїтивні методи (наприклад метод експертних оцінок фахівців з великим досвідом роботи). На наш погляд, це досить

суб'єктивний метод і в роботі зроблена спроба довести, що застосування формалізованих методів у цій галузі можливе.

У свою чергу ці дві групи можна розділити за загальним принципом діяльності та способу отримання прогнозованої інформації. Формалізовані методи поділяються на методи екстраполяції і методи моделювання.

В даній роботі методи ковзної середньої та експоненціального згладжування використано для статистичних даних виробничого травматизму ДП «Шахта №3 ім. М.С.Сургая» за період з 1986р по 2016 роки.

Метод ковзних середніх є одним з широко відомих методів згладжування часових рядів. Застосовуючи цей метод, можна елімінувати випадкові коливання і отримати значення, відповідні впливу головних чинників.

Згладжування за допомогою ковзних середніх засноване на тому, що в середніх величинах взаємно погашаються випадкові відхилення. Це відбувається внаслідок заміни первинних рівнів часового ряду середньою арифметичною величиною всередині обраного інтервалу часу. Отримане значення відноситься до середини обраного інтервалу часу (періоду).

Потім період зсувається на одне спостереження, і розрахунок середньої повторюється. При цьому періоди визначення середньої беруться весь час однаковими. Таким чином, в кожному даному випадку середня центрована, тобто віднесена до серединної точки інтервалу згладжування і являє собою рівень для цієї точки.

При згладжуванні часового ряду легкими середніми в розрахунках беруть участь всі рівні ряду. Чим ширше інтервал згладжування, тим більше плавним виходить тренд. Згладжений ряд коротше початкового на $(n-1)$ спостережень, де n - величина інтервалу згладжування.

При великих значеннях n коливання згладженого ряду значно знижується. Одночасно помітно скорочується кількість спостережень, що створює труднощі.

Вибір інтервалу згладжування залежить від цілей дослідження. При цьому слід керуватися тим, в який період часу відбувається дія, а отже, і усунення впливу випадкових факторів.

Даний метод використовується при короткостроковому прогнозуванні. Його робоча формула:

$$y_{t+1} = m_{t-1} + \frac{1}{n} \cdot (y_t - y_{t-1}), \text{ якщо } n = 3, \quad (1)$$

де $t + 1$ - прогнозний період; t - період, що передує прогнозному періоду; y_{t+1} - прогнозований показник; m_{t-1} - змінна середня за два періоди до прогнозного; n - число рівнів, що входять в інтервал згладжування; Y_t - фактичне значення досліджуваного явища за попередній період; Y_{t-1} - фактичне значення досліджуваного явища за два періоди, що передують прогнозному.

Результати даного методу представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати рівня травматизму методом ковзної середньої з інтервалом згладжування $n=3$

Рік	Коефіцієнт частоти травматизму $u_{Kч}$	3 роки, m -змінна середня	y_{t+1} -прогноз на заданий рік	y_t^2 -прогноз на заданий рік	y_t^3 -прогноз на заданий рік	E_x (y_{t+1}) - відносна похибка	E_x (y_t^2) - відносна похибка	E_x (y_t^3) - відносна похибка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1986	47,24							
1987	51,20	47,2						
1988	43,09	52,5						
1989	63,31	73,4	44	43	43,03	30	32	32
1990	113,85	91	59	65	84,13	48	43	26
1991	95,75	110	90	144	106,72	6	51	11
1992	121,61	111	85	123	110	30	1	9
1993	115,69	115	119	118	135	3	2	17
1994	108,69	108	109	131	131	0	20	20
1995	99,52	97	113	102	131	14	3	31
1996	83,77	87	105	92	120	25	10	43
1997	78,52	74	92	72	105	17	8	33

1998	58,38	53	86	66	93	46	13	59
1999	21,06	33	67	48	75	217	129	258
2000	19,69	19	40	-5	49	104	124	147
2001	16,58	16	33	-6	29	97	134	76
2002	11,72	13	18	15	15	54	25	28
2003	12,05	13	14	8	12	19	33	4
2004	16,17	15	14	9	9	16	45	42
2005	16,36	17	15	18	10	10	9	40
2006	18,04	20	15	19	12	17	6	36
2007	26,48	23	17	19	14	34	29	47
2008	25,12	25	23	30	18	8	21	27
2009	23,41	23	23	30	21	3	29	9
2010	19,30	22	24	22	23	27	14	19
2011	24,39	22	21	17	20	13	31	17
2012	22,69	20	24	23	21	6	3	9
2013	13,86	15	22	26	20	56	84	46
2014	7,11	9	17	10	18	144	38	151
2015	5,41	6	12	-1	12	128	119	116
2016	5,56	5	8	0	6	48	94	6
Е', відносна середня похибка						44	41	49

Отримані результати дають велику похибку прогнозування (44%), що не є задовільним. Тому у роботі нами були запропоновані інші формули для прогнозування:

$$y_t^2 = m_{t-2} + (y_{t-1} - y_{t-3}) \quad (2)$$

$$y_t^3 = m_{t-2} + \frac{2}{t-2}(y_{t-1} - y_1) \quad (3)$$

Результати прогнозування за цими формулами також дали незадовільний результат – відносні похибки склали 41% і 49% для другого і третього способів відповідно. Такий результат, на наш погляд, обумовлений різким коливанням рівнів травматизму в 1998-1999 та 2013-2014 роках (приблизно в 2 рази), що пов'язано зі зменшенням вуглевидобутку саме в ці періоди. Як видно із таблиці 1, маємо найбільшу похибку. Якщо врахувати обсяг вуглевидобутку або відпрацьованих людино-годин, похибка прогнозу має зменшитися. Збільшення числа рівнів до $n=5$ також не привело до задовільного результату. Таким чином,

за оброблюваними статистичними даними метод ковзної середньої не дає можливість спрогнозувати тенденцію розвитку виробничого травматизму.

Експоненціальне згладжування – це вирівнювання динамічних рядів, що дуже коливаються, з метою наступного прогнозування. За цим методом можна дати обґрунтовані прогнози на підставі рядів динаміки, що мають помірний зв'язок у часі, і забезпечити більше врахування показників, досягнутих за останні роки. Сутність методу полягає у згладжуванні часового ряду за допомогою зваженої плинної середньої, у якій ваги підпорядковані експоненціальному закону. Кожне згладжене значення розраховується шляхом поєднання попереднього згладженого значення і поточного значення часового ряду. У цьому випадку поточне значення часового ряду зважується з урахуванням константи, що згладжує.
[7]

Метод експоненціального згладжування, порівняно з іншими методами прогнозу, має переваги і недоліки. Серед переваг необхідно назвати його точність, що збільшується зі збільшенням числа рівнів динамічного ряду. Недоліком методу є те, що немає точного методу для вибору оптимальної величини параметра згладжування α . Точність прогнозу за цим методом зменшується зі збільшенням прогнозного інтервалу.[7]

Для прогнозування методом експоненціального згладжування використовують наступну формулу:

$$U_{t+1} = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot U_t \quad (4)$$

де t – період, що передуює прогнозованому; $t+1$ – прогнозований період; U_{t+1} – показник що прогнозується; α - параметр згладжування; y_t - фактичне значення досліджуваного показника за період, що передуює прогнозованому; U_t – експоненційнозважена середня для періоду, що передуює прогнозованому.[8]

Вперше після початку спостережень, маючи в своєму розпорядженні лише один результат спостережень u_t , коли прогнозу U_t немає і формулою скористатись неможливо, в якості прогнозу U_{t+1} беруть U_t .

При практичному використанні методу експоненціального згладжування виникають деякі труднощі. Основними є вибір значення константи α і визначення початкової умови U_0 . Від чисельного значення параметра α залежить, наскільки швидко буде зменшуватися вага попередніх спостережень і відповідно до цього ступінь їхнього впливу на рівень, що згладжується. Чим більше значення параметра α , тим менше впливають попередні рівні і відповідно меншим виявляється вплив експоненціальної середньої. Пошук компромісного значення параметра згладжування становить задачу оптимізації моделі, що до тепер до кінця ще не вирішена. [7]

На наш погляд, константу α необхідно обирати шляхом дослідження. Будують декілька прогнозів для різних констант та обирають ту константу, застосування якої дає найбільшу точність прогнозу за попередні періоди.

В дослідженні було розглянуто метод експоненціального згладжування, в якому α приймає значення $\{0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 0.98\}$. Результати даного методу представлені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати рівня травматизму методом експоненціального згладжування при $\alpha=0,2$

Рік	кіль-ть травмований	К ч	К* ч ($\alpha=0,2$)	$\Delta 1$	$\xi 1$	К* ч ср. ($\alpha=0,2$)	$\Delta 2$	$\xi 2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1986	131	47,2	47,2	0	0	47,2	0	0
1987	162	51,2	48	3,2	6,25	49,6	1,6	3,22
1988	145	43,1	49,58	6,48	15,03	46,35	3,25	7,01
1989	224	63,3	47,14	16,16	25,52	53,62	9,68	18,05

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1990	411	113,9	73,42	40,48	35,53	73,77	40,12	54,39
1991	338	95,7	110,26	14,56	15,21	74,39	21,30	28,64
1992	475	121,6	100,88	20,72	17,03	85,57	36,02	42,09
1993	511	115,9	120,46	4,56	3,93	88,37	27,53	31,15
1994	473	108,7	114,46	5,76	5,29	89,34	19,35	21,65
1995	419	99,5	106,86	7,36	7,39	88,70	10,79	12,16
1996	380	83,7	96,34	12,64	15,1	85,38	1,68	1,96
1997	368	78,5	82,66	4,16	5,29	83,85	5,35	6,38
1998	264	58,4	74,48	16,08	27,53	78,18	19,78	25,30
1999	91	21,1	50,94	29,84	141,42	67,18	46,08	68,59
2000	84	19,7	20,82	1,12	5,68	63,75	44,05	69,09
2001	72	16,6	19,08	2,48	14,93	60,22	43,62	72,43
2002	50	11,7	15,62	3,92	33,50	56,44	44,74	79,27
2003	47	12	11,76	0,24	2	54,03	42,03	77,79
2004	61	16,2	12,84	3,36	20,74	52,84	36,64	69,34
2005	72	16,3	16,22	0,08	0,49	51,03	34,73	68,05
2006	62	26,5	18,34	8,16	30,79	51,80	25,30	48,84
2007	91	14,3	24,06	9,76	68,25	47,77	33,47	70,06
2008	87	25,1	16,46	8,64	34,42	48,85	23,75	48,62
2009	85	23,4	24,76	1,36	5,81	47,46	24,06	50,70
2010	66	19,3	22,58	3,28	16,99	45,55	26,25	57,63
2011	79	24,4	20,32	4,08	16,72	45,72	21,32	46,63
2012	73	22,7	24,06	1,36	5,99	44,54	21,84	49,03
2013	44	13,9	20,94	7,04	50,64	41,74	27,84	66,70
2014	22	7,1	12,54	5,44	76,61	39,24	32,14	81,90
2015	16	5,4	6,76	1,36	25,18	37,78	32,38	85,70
2016	16	5,6	5,44	0,16	2,85	36,78	31,18	84,77
			середнє значення		23,62	середнє значення		46,68

Таблиця 3 – Результати рівня травматизму методом експоненціального згладжування при $\alpha=0,9$

Рік	кіль-ть травм овани х	К ч	$K^*ч(\alpha=0,90)$	$\Delta 1$	$\xi 1$	$K^*ч$ ср. $(\alpha=0,90)$	$\Delta 2$	$\xi 2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1986	131	47,2	47,20			47,20		
1987	162	51,2	50,80	0,40	0,78	51,00	0,20	0,39
1988	145	43,1	43,91	0,81	1,88	43,51	0,41	0,94
1989	224	63,3	61,28	2,02	3,19	62,09	1,21	1,91
1990	411	113,9	108,84	5,06	4,44	108,88	5,02	4,40
1991	338	95,7	97,52	1,82	1,90	93,04	2,66	2,78
1992	475	121,6	119,01	2,59	2,13	117,10	4,50	3,70

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1993	511	115,9	116,47	0,57	0,49	112,46	3,44	2,97
1994	473	108,7	109,42	0,72	0,66	106,28	2,42	2,23
1995	419	99,5	100,42	0,92	0,92	98,15	1,35	1,36
1996	380	83,7	85,28	1,58	1,89	83,91	0,21	0,25
1997	368	78,5	79,02	0,52	0,66	79,17	0,67	0,85
1998	264	58,4	60,41	2,01	3,44	60,87	2,47	4,23
1999	91	21,1	24,83	3,73	17,68	26,86	5,76	27,30
2000	84	19,7	19,84	0,14	0,71	25,21	5,51	27,95
2001	72	16,6	16,91	0,31	1,87	22,05	5,45	32,85
2002	50	11,7	12,19	0,49	4,19	17,29	5,59	47,81
2003	47	12	11,97	0,03	0,25	17,25	5,25	43,79
2004	61	16,2	15,78	0,42	2,59	20,78	4,58	28,27
2005	72	16,3	16,29	0,01	0,06	20,64	4,34	26,63
2006	62	26,5	25,48	1,02	3,85	29,66	3,16	11,94
2007	91	14,3	15,52	1,22	8,53	18,48	4,18	29,26
2008	87	25,1	24,02	1,08	4,30	28,07	2,97	11,83
2009	85	23,4	23,57	0,17	0,73	26,41	3,01	12,86
2010	66	19,3	19,71	0,41	2,12	22,58	3,28	17,00
2011	79	24,4	23,89	0,51	2,09	27,07	2,67	10,92
2012	73	22,7	22,87	0,17	0,75	25,43	2,73	12,03
2013	44	13,9	14,78	0,88	6,33	17,38	3,48	25,04
2014	22	7,1	7,78	0,68	9,58	11,12	4,02	56,59
2015	16	5,4	5,57	0,17	3,15	9,45	4,05	74,96
2016	16	5,6	5,58	0,02	0,36	9,50	3,90	69,61
			серед. значення		3,05	серед. значення		19,76

$K_{ч}$ – коефіцієнт частоти нещасних випадків;

α - коефіцієнт згладжування;

$K_{ч}^*$ - коефіцієнт частоти нещасних випадків прогнозоване значення;

$K_{ч\text{ ср}}^*$ - коеф-т частоти нещасних випадків, прогнозоване за середнім значенням $K_{ч}$;

Δ - різниця значень ($(K_{ч}^* - K_{ч})$; $(K_{ч\text{ ср}}^* - K_{ч})$);

ξ - середня відносна похибка ($(|K_{ч}^* - K_{ч}| / K_{ч})$; $(|K_{ч\text{ ср}}^* - K_{ч}| / K_{ч})$).

Висновки. В результаті виконання роботи:

– проаналізована динаміка травматизму ДП «Шахта №3 ім. М.С.Сургая» за період з 1986р по 2016 роки.

- показано, що динаміка має тенденцію до зменшення
- встановлено, що метод ковзної середньої не дає можливість спрогнозувати тенденцію розвитку рівня травматизму за цими конкретними статистичними даними
- показано, що, на відміну від метода ковзної середньої, метод експоненціального згладжування дає задовільні результати прогнозування (середня похибка складає 5-15%)
- доведено, що для підвищення достовірності прогнозу параметр α треба вибирати на підставі критерію мінімальної похибки за результатами прогнозу за попередні роки.

Бібліографічний список

1. Научно-методические рекомендации по вопросам диагностики социальных рисков и прогнозирования вызовов, угроз и социальных последствий. Российский государственный социальный университет. Москва. 2010;
2. Жидецкий В.Ц., Джигирей В.С., Мельников А.В. Основы охраны труда Учебник. — 2-е изд., доп. — Львов: Афиша, 2000. — 351 с. — ISBN 966-7760-10-3.
3. Энциклопедия по безопасности и гигиене труда: Перев. с англ. / Под ред. Бирюкова А.П. – М.: Профиздат, Т. 1. – 1985. – 694 с.
4. Методологічні засади моніторингу виробничого травматизму. Монографія. Т. М. Таїрова. – К.: «Основа». 2014. – 201 с.
5. Управління потоками вугільної продукції та стійким функціонуванням збиткових шахт України : монографія / О.В. Трифонова, О.Ю. Кравець; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014. – 202 с.
6. <http://ts-vistnic.stu.cn.ua/index.pl?task=arcls&id=1314>
7. http://pidruchniki.com/1510030638270/bzhd/osnovni_prichini_virobnichogo_travmatizmu_profzahvoryuvanosti_zahodi_schodo_zapobigannya
8. <http://www.ekonomika-st.ru/drugie/metodi/metodi-prognoz-1-4.html>

Надійшла до редакції 12.05.2018