

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет

Вісник
Криворізького національного
університету

Збірник наукових праць

Випуск 51

Кривий Ріг 2020

Редакційна колегія: **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф., (заступник головного редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Бережний М.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Березовський А.А.**, д-р геол. наук, проф.; **Бровко Д.В.**, канд. тех. наук., доц.; **Вагонова О.Г.**, д-р економ. наук, проф.; **Варава Л.М.**, д-р економ. наук, проф.; **Вілкул Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Гірін В.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Губін Г.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Гурін А.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Євтехов В.Д.**, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; **Жуков С.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Зінченко О.А.**, д-р економ. наук, проф.; **Зубов Д.А.**, д-р техн. наук, проф., Охрид, Македонія; **Ільяс Ніколае**, д-р техн. наук, проф., Петрошани, Румунія; **Калініченко В.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Кіяновський М.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Коробко В.М.**, д-р техн. наук, проф., Массачусетс, США; **Купін А.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Лялюк В.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун Н.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Несмашний Є.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Нусінов В.Я.**, д-р економ. наук, проф.; **Олійник Т.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Перебудов В.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Решетілова Т.Б.**, д-р економ. наук, проф.; **Рудь Ю.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Самуся В.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Сидоренко В.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Сінолиций А.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Сінчук О.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Стороженко Л.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Титюк В.К.**, канд. техн. наук, доц.; **Ткаченко А.М.**, д-р економ. наук, проф.; **Толмачов С.Т.**, д-р техн. наук, проф.; **Турило А.М.**, д-р економ. наук, проф.; **Учитель О.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоренко П.Й.**, д-р техн. наук, проф.; **Шишкін О.О.**, д-р техн. наук, проф.

Збірник внесено до Переліку фахових видань, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт (наказ Міністерства освіти і науки України № 326 від 04.04.2018 р.).

Збірник індексується в наукометричних базах даних Google Scholar, Index Copernicus, Research Bible, Academic Keys та ін., в загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» (реферативний журнал «Джерело»). Збірник надсилається до Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського НАН України та провідних наукових бібліотек України.

У матеріалах збірника викладено результати досліджень у галузі технічних та економічних наук. Розглянуто шляхи підвищення ефективності промислових виробництв, автоматизації, контролю та керування технологічними процесами. Важливе місце займають питання енергозбереження, економіки, надійності охорони праці, техніки безпеки, захисту довкілля.

Наукові статті збірника рекомендовані науковим та інженерно-технічним працівникам, студентам, магістрантам й аспірантам.

Випуск № 51 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою Криворізького національного університету (протокол № 3 від 03.11.2020 року).

Адреса редакції: Криворізький національний університет
вул. Пушкіна, 44, Кривий Ріг, 50002,
Тел. (056) 409 61 29
web-сайт <http://visnykknpu.com.ua>

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

<i>С.Ф. Власов, Молдаванов Є.В.</i> Результати аналізу характеру розподілу конвергенції в лаві під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» в умовах шахт Західного Донбасу	3
<i>Анненков А.О.</i> Застосування методу нейронних мереж при геодезичному моніторингу інженерних споруд	8
<i>Носаль Д.А., Трубников Ю.Н., Шевченко В.Г.</i> Определение частоты нарушений по основным травмирующим факторам на угольных шахтах	16
<i>Засельський В. Й., Пополов Д. В., Засельський І. В., Шепеленко М. І.</i> Алгоритм розрахунку енергосилових витрат технічної системи «роторний змішувач-конвеєр»	24
<i>Пахомов В.И., Гирич И.В.</i> Моделирование и оптимизация процессов текущего ремонта автомобилей	29
<i>Рязанцев А.О., Кляцький В.І., Бугай Л.А.</i> Визначення оптимальних режимів різання для обробки деталей зі зносостійких хромистих чавунів	34
<i>Маринич І. А., Рубан С. А., Сердюк О. Ю.</i> Застосування пакету TrueTime при моделюванні процесу керування об'єктами із запізненням і варійованим періодом дискретності	39
<i>Котов І.А.</i> Дослідження функцій надійності оперативно-диспетчерського персоналу енергосистеми для оцінки ефективності системи підтримки прийняття рішень при ліквідації аварійних ситуацій	46
<i>Сайтгарєєв Н. Х., Н. Н. Шаповалова, Рибальченко О. Г., Доценко І. О.</i> Модель індивідуалізації контролю якості знань у системах адаптивного тестування	52
<i>Hirin I.V., Tyshchenko V.Yu.</i> Comparative analysis of safety design for electric vehicle and internal combustion engine cars	57
<i>Завсєгдашніа І.В., Цвіркун С.Л., Бурнасєв П.В., Сердюк О.Ю., Завсєгдашніа О.О.</i> Оптимізаційне моделювання розподілу продукції видобувного підприємства між контрагентами	62
<i>Кривенко А.Ю., Кривенко Ю.Ю.</i> Імітаційне моделювання гравітаційного поділу залізородної сировини у ванні дешламатора	69
<i>Суртаєв В.В.</i> Ефективність теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла (α -модель)	75
<i>Домнічев М.В., Нестеренко О.В., Близнюкова О.Ю., Марич В.М.</i> Огляд сучасного стану пожежної безпеки та розробка рекомендацій щодо захисту працівників офісних приміщень	83
АНОТАЦІЇ ..	
<i>А н о т а ц і ї ..</i>	92

УДК 622.831.242.4

С.Ф. ВЛАСОВ, д-р техн. наук, проф., Є.В. МОЛДАВАНОВ, асп.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ХАРАКТЕРУ РОЗПОДІЛУ КОНВЕРГЕНЦІЇ В ЛАВІ ПІД ЧАС ПОСАДКИ СЕКЦІЙ МЕХАНІЗОВАНОГО КРІПЛЕННЯ «НА ЖОРСТКУ БАЗУ» В УМОВАХ ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Мета. Виконати аналіз закономірностей розподілу конвергенції в лаві під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу», які сталися за причини наявності у покрівлях вугільних пластів потужних пісковиків, на підставі комплексу зібраних даних геологічного прогнозу шахт Західного Донбасу, а також результатів моделювання покровового переміщення очисного вибою в просторовій геомеханічній моделі виімкової ділянки. На основі аналізу отримати та описати рівнянням характер розподілу величин зближення бічних порід.

Методи дослідження. В роботі застосовано метод комп'ютерного моделювання геомеханічних процесів навколо очисного вибою, що базується на чисельному математичному методі скінченних елементів (МСЕ) за критерієм міцності Мора-Кулона.

Наукова новизна. В результаті проведення геомеханічного моделювання руху очисного вибою вперше встановлено закономірності характеру розподілу величин конвергенції в лаві, під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу». А саме, встановлено, що зміна величин конвергенції має характер розподілу Пуассона, а також Гаусса, або нормального розподілу. Встановлення закономірностей дозволить у подальшому обґрунтувати раціональні параметри відпрацювання вугільних пластів з метою підвищення ефективності видобутку кам'яного вугілля на шахтах Західного Донбасу.

Практичне значення. Аналіз закономірностей розподілу конвергенції уздовж лави під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» дозволить обґрунтувати й розробити раціональні параметри очисного виймання, з урахуванням мінливих параметрів залягання пісковики у покрівлі, задля попередження, а також зведення до мінімуму аварійних зупинок очисних вибоїв шахт Західного Донбасу.

Результати. Виконано моделювання покровових переміщень очисних вибоїв у просторовій геомеханічній моделі, на підставі якого встановлено закономірності характеру розподілу конвергенції в лаві під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу», які трапились в реальних умовах шахт Західного Донбасу за останній час. Представлено порівняння результатів моделювання та фактичних даних, зібраних на підприємствах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Ключові слова. Відстань міжпласта, вугільний пласт, глибина розробки, конвергенція, лава, покрівля пласта, посадка «на жорстку базу», потужність шарів.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-3-8

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. За даними звіту [1] Міністерства енергетики України, видобуток рядового вугілля за 2019 рік сягнув 31,2 млн т. Виконання планового завдання склало 94,4 %. За різних причин до завдання було недовидобуто 1,86 млн т. Що ж стосується результатів роботи вуглевидобувних підприємств Західного Донбасу, можна сказати, що за цей же період було видобуто 18,2 млн т. Виконання планового завдання склало 92,2 %. Втрати видобутку вугілля склали 1,54 млн т, або 82,7 % від загальноукраїнських.

Аналізуючи причини зниження вуглевидобутку, можна сказати, що одним з багатьох факторів мають місце бути аварійні зупинки очисних вибоїв, які пов'язані з втратою секцій механізованого кріплення робочої висоти та посадкою їх «на жорстку базу». Для більшого розуміння проблеми, до аналізу було включено звіт по аваріях за календарний період – січень 2018 р. – липень 2020 р.

Характеризуючи зібраний матеріал на шахтах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» по даному питанню, можна стверджувати, що в усіх випадках вирішальну роль відігравала наявність у покрівлі вугільних пластів потужних пісковиків (3,4 – 21,0 м). Вони вчасно не відсікалися й утворювали так званий «породний міст», який до моменту переходу у позамежний стан утримував верхні шари гірських порід. Після чого пісковики раптово втрачали свою міцність та руйнувалися, тим самим провокуючи втрату робочого опору секцій механізованого кріплення та посадку їх «на жорстку базу».

Звіт по аваріях, пов'язаних з посадкою секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» наведено в табл. 1.

Звіт по аваріях, пов'язаних з посадкою секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» за січень 2018 - липень 2020 років по ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»

Час простою діб/год.	Шахта	Лава, №	Втрата видобутку під час простою, т	Тип простою	Кількість секцій кріплення, які зазнали посадки, од.
05 – 09.08.2018	Західно-Донбаська	863	3080	Зняття секцій кріплення з жорсткої бази	36
08 – 23.11.2018	ім. Сташкова	636-північна	32107		32
20 – 25.09.2019	ім. Героїв Космосу	1174	12120		73
15 – 20.04.2020	Дніпровська	1099	10980		47
28.05 – 03.06.2020	Степова	151	10007		60
40/960			68294		256

Аналіз результатів попередніх досліджень показує, що вплив пісковиків на величину конвергенції в лаві, як окремої літологічної підсистеми, вивчений не досить повно саме в комп'ютерному моделюванні посування очисного вибою вздовж виїмкового стовпа. Зокрема, відсутні закономірності характеру розподілу величин зближення бічних порід. Відсутність цих закономірностей повною мірою ускладнює обґрунтування раціональних параметрів відробки вугільних пластів у даному регіоні.

Аналіз досліджень та публікацій. Що ж стосується аналізу досліджень та публікацій стосовно прогнозного моделювання напружено-деформованого стану (НДС) шаруватого породного масиву, слід відмітити Калініченко О.В., який на підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей визначив зміну НДС масиву в умовах шахтного поля шахти «Гігант-Глибока» [2]. Науковцями з НТУ «Дніпровська політехніка» [3] було виконано чисельне моделювання впливу поверхонь тріщин при оцінці міцності породного масиву. Мануйленко Р.І. [4] виконав дослідження НДС вуглепородного масиву під час відпрацювання вугільного пласта. Групою дослідників УкрНДМІ НАН України було досліджено розподіл НДС масиву гірських порід навколо очисного вибою за допомогою комп'ютерного моделювання [5]. Гірничим інженером-науковцем Мартовицьким А.В. було виконано чисельний аналіз змін НДС гірського масиву при послідовному посуванні очисного вибою від монтажно-ї камери [6]. Ним визначено критичний розмір виробленого простору, при якому відбувається посадка основної покрівлі, а також представлено дані візуальних та інструментальних спостережень за станом порід при відході лави від монтажно-ї камери. Вченими УкрНДМІ НАН України було проведено дослідження механізму зсуву породних шарів над виробленим простором в зоні впливу очисних робіт, а також руйнування шару внаслідок вигину [7]. Дослідниками з Китаю He M., Zhu G., а також Guo Z. було сформульовано новий метод видобутку вугілля, шляхом компонування «теорії розрізання консольної балки» та методу № 110, який може забезпечити теоретичну та технічну базу для розвитку гірничодобувної промисловості [8]. Науковцями з НТУ «Дніпровська політехніка» було розкрито механізм формування позамежних навантажень на механізоване кріплення очисних комплексів у процесі посадки основної покрівлі при відпрацюванні пологих вугільних пластів в умовах обводненого вуглевмісного масиву слабких порід [9]. Групою вчених з Китайського університету гірництва та технологій створено просторову геомеханічну комп'ютерну модель ділянки виїмкового стовпа, яка містила в собі чотири зони: перша – руйнувань гірського масиву, друга – пластичних напружень, третя – підвищених пластичних напружень, четверта – напружень у глибині гірського масиву [10]. На основі розрахованих результатів були запропоновані методи підвищення стійкості привибійного простору задля уникнення високих напружень у покрівлі на секції механізованого кріплення. Австралійські науковці з університету Ньюкастл виконали та порівняли чисельне моделювання прогнозу руйнування покрівлі гірських порід після проходження лави за допомогою трьох критеріїв: звичайного Мора-Кулона, Мора-Кулона з виключенням напружень, а також Хоека-Брауна [11]. Дослідники з НТУ «Дніпровська політехніка» провели аналіз шахтних спостережень і вимірів процесу формування навантаження на механізоване кріплення очисного комплексу 1МКД-80 в умовах відпрацювання пологого вугільного пласта в тонкошаруватому обводненому масиві слабких гірських порід [12]. У роботі Власова С.Ф. та Сидельникова О.А. [13] було обґрунтовано технологічні параметри відпрацювання виїмкових ділянок на основі результатів моделювання покрокового переміщення очисного вибою у

просторовій геомеханічній моделі виїмкового стовпа, який розташовано в шаруватому трансверсально-ізотропному масиві гірських порід. Вчені з Індійського інституту технологій запропонували підхід чисельного моделювання прогнозу руйнування порід покрівлі, яке призводить до динамічного перенавантаження та посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» [14]. Також було виконано розрахунок 324 геомеханічних моделей взаємодії бічних порід з секціями механізованого кріплення [15].

На основі отриманих результатів було розроблено моделі статистичної регресії для встановлення взаємозв'язку між вхідними та вихідними параметрами. У зазначених вище дослідженнях автори не приділили уваги до впливу пісковиків, як окремої літологічної підсистеми, на формування характеру розподілу величини конвергенції в очисному вибої. Тому вирішення цього питання є дуже важливим і актуальним для підвищення ефективності видобутку вугілля на шахтах Західного Донбасу.

Постановка завдання. В роботі досліджуються закономірності розподілу конвергенції в лаві під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» за причини наявності у покрівлі вугільних пластів потужних пісковиків. Завданням дослідження було виконати моделювання покрокового переміщення очисних вибоїв у просторовій геомеханічній моделі, на підставі якого необхідно отримати графіки розподілу зближення бічних порід під час аварій.

Для виконання дослідження було застосовано методіку Власова С.Ф. і Сидельникова О.А., в якій було додатково враховано параметри залягання пісковиків [13]. За допомогою програмного пакета SolidWorks 2019 було побудовано п'ять імітаційних моделей випадків посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» в умовах шахт ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Вихідні технологічні та гірничо-геологічні дані з урахуванням параметрів залягання пісковиків, а також засобів механізації наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вихідні дані для побудови моделі

Лава, №	863	636-північна	1174	1099	151
Найменування пласта	C_8^H	C_6	C_{11}	C_{10}^B	C_6
Система розробки	стовпова	стовпова	стовпова	стовпова	стовпова
Відстань аварії від монтажної камери, м	590,0	160,0	915,0	310,0	180,0
Довжина лави, м	280,0	210,0	270,0	280,0	230,0
Глибина розробки, м	489,0	341,0	280,0	364,0	503,0
Відстань пісковіку вище покрівлі пласта, м	14,6	19,9	26,0	0,7	13,2
Потужність пісковіку, м	6,0	21,0	3,4	16,0	11,0
Виймана потужність пласта, м	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Розмір моделі у напрямку руху очисного вибою, м	870,0	501,0	592,0	674,0	689,0
Розмір моделі в поперек руху очисного вибою, м	629,0	446,0	415,0	504,0	618,0
Розмір моделі по вертикалі, м	540,0	392,0	331,0	415,0	554,0
Тип механізованого кріплення	КД-90	КД-90	КД-90	КД-90	OSTROJ 70/125 T
Тип кріплення підготовчих виробок	КШПУ-14,4	КШПУ-14,4	КШПУ-14,4	КШПУ-14,4	КШПУ-14,4

Порівняння результатів експерименту з фактичними даними відбувалось у співставленні довжини зони конвергенції з величиною понад 400 мм, отриманої в результаті розрахунку, з шахтними даними по кількості секцій, які зазнали посадки «на жорстку базу» за їх загальною довжиною. Величина різниці цих показників становила величину похибки.

Викладення матеріалу та результати. Актуальною задачею відтворення реальних умов, шляхом побудови просторових геомеханічних комп'ютерних моделей покрокового переміщення очисного вибою уздовж виїмкових ділянок, є виявлення характеру розподілу конвергенції бічних порід під час аварійних посадок секцій механізованого кріплення «на жорстку базу», з урахуванням пісковиків як основного фактора.

Спираючись на вищевикладене, з метою обґрунтування, у подальшому раціональних параметрів відробки вугільних пластів, а також перевірки ступеня похибки між результатами моделювання та фактичними даними, розглянуто аналіз характеру розподілу конвергенції у 863 лаві шахти «Західно-Донбаська»: величина потужності пісковіку становила 6,0 м, відстань заля-

гання пісковика вище покрівлі пласта – 14,6 м. Результати характеру розподілу конвергенції наведено на рис. 1.



Рис. 1. Характер розподілу конвергенції уздовж 863 лави ПК 207 під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу»

На рис. 1 показано, що зміна величин конвергенції уздовж 863 лави, має характер розподілу Пуассона з $\lambda = 440$ мм. Характер розподілу Пуассона можна описати наступним рівнянням

$$Pr = (X = k) \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, k \in N_0, \quad (1)$$

де λ – математичне очікування випадкової величини (середня кількість подій за фіксований проміжок); $k!$ – факторіал числа k ; e – основа натурального логарифму ($e = 2,71$).

Також з рис. 1 можна стверджувати, що зміна величин конвергенції уздовж 863 лави, також має характер розподілу Гаусса, тобто нормального розподілу.

Нормальний розподіл виникає тоді, коли випадкова величина, в даному випадку конвергенція бічних порід, являє собою суму великої кількості незалежних величин, кожна з яких відіграє незначну роль в утворенні всієї суми.

Характер розподілу Гаусса, можна описати рівнянням

$$f(x; \mu; \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

де μ – математичне очікування; σ^2 – дисперсія випадкової величини; σ – стандартне відхилення.

З метою перевірки методу моделювання на точність, а також обґрунтування у подальшому раціональних параметрів відробки вугільних пластів розглянуто аналіз характеру розподілу конвергенції у 636 - північній лаві шахти «ім. Сташкова»: величина потужності пісковика становила 21,0 м, відстань залягання пісковика вище покрівлі пласта – 19,9 м.

Результати характеру розподілу конвергенції наведено на рис. 2.

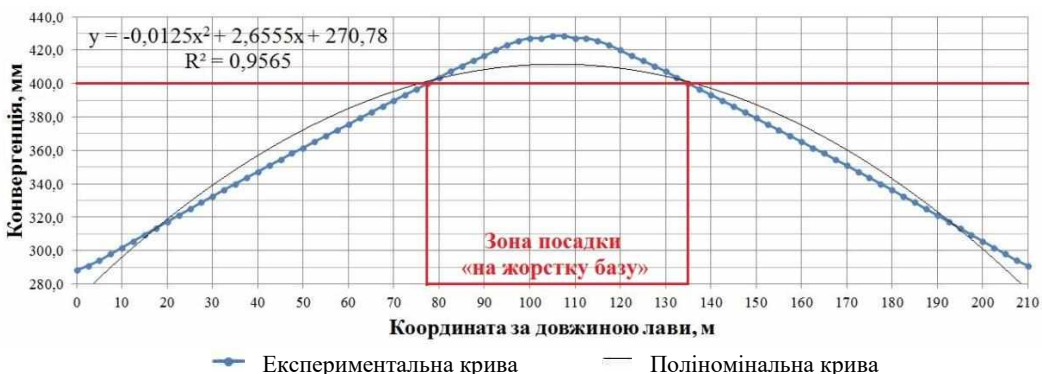


Рис. 2. Характер розподілу конвергенції уздовж 636 - північної лави ПК 85 під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу»

З рис. 2 можна зробити висновок, що зміна величин конвергенції уздовж 636-північної лави має характер розподілу Пуассона з $\lambda = 430$ мм. Цей розподіл величин можна описати рівнянням (1).

Також з рис. 2 можна стверджувати, що зміна величин конвергенції уздовж 636-північної лави також має характер розподілу Гаусса, тобто нормального розподілу.

Розподіл величин зближення бічних порід описано рівнянням (2).

Також було виконано чисельне моделювання характеру розподілу конвергенції у 1174 лаві шахти «ім. Героїв Космосу»: величина потужності пісковиків становила 3,4 м, відстань залягання пісковиків вище покрівлі пласта – 26,0 м. Результати характеру розподілу конвергенції наведено на рис. 3.



Рис. 3. Характер розподілу конвергенції уздовж 1174 лави ПК 47+5 м під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу»

Дивлячись на рис. 3, можна констатувати, що зміна величин конвергенції уздовж 1174 лави має характер розподілу Пуассона з $\lambda = 487$ мм. Характер розподілу конвергенції бічних порід описано рівнянням (1).

Характеризуючи рис. 3, також можна сказати, що зміна величин конвергенції уздовж 1174 лави має характер розподілу Гаусса, тобто нормальний розподіл.

Розподіл величин зближення бічних порід описано рівнянням (2).

Аналогічним чином було отримано характер результату розподілу конвергенції по 1099 лаві шахти «Дніпровська», а також по 151 лаві шахти «Степова».

Висновки та напрями подальших досліджень. У результаті проведеного моделювання з урахуванням пісковиків можна сказати, що зміна величини зближення бічних порід в усіх п'ятьох лавах має характер розподілу Пуассона: з $\lambda = 440$ мм для 863 лави шахти «Західно-Донбаська», з $\lambda = 430$ мм для 636-північної лави шахти «ім. Сташкова», з $\lambda = 487$ мм для 1174 лави шахти «ім. Героїв Космосу», з $\lambda = 450$ мм для 1099 лави шахти «Дніпровська», а також з $\lambda = 333$ мм для 151 лави шахти «Степова». Характер розподілу Пуассона описано рівнянням (1).

Також можна зробити висновок, що зміна величин конвергенції уздовж очисних вибоїв має характер розподілу Гаусса, тобто нормальний розподіл. Нормальний розподіл виникає тоді, коли величина, в даному випадку конвергенція бічних порід, являє собою суму великої кількості незалежних величин, кожна з яких відіграє незначну роль в утворенні всієї суми. Характер розподілу Гаусса, також описано рівнянням (2).

Порівнюючи результати числового моделювання з фактичними даними, можна констатувати, що похибка коливається в межах 11,1 – 18,0 %. Ще підтверджує те, що застосована методика має високу достовірність та наукову цінність.

Перевіривши ефективність методики та отримавши високу достовірність закономірностей характеру розподілу конвергенції, в подальших дослідженнях необхідно значно розширити діапазон параметрів залягання пісковиків, з урахуванням їх потужності, відстані залягання вище покрівлі пласта, глибини розробки, а також довжини відходу лави від монтажної камери для виявлення нових закономірностей їх впливу на геомеханічні процеси навколо очисного вибою та задля обґрунтування раціональних параметрів відпрацювання вугільних пластів в умовах шахт Західного Донбасу.

Список літератури

1. Звіт Міністерства енергетики України про виконання завдання з видобутку рядового вугілля за грудень 2019 р. [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245435525
2. **Калініченко О. В.** Фізичне моделювання стійкості масиву при формуванні та підтримці підземних гірничих виробок / **О. В. Калініченко** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2018. – Вип. 47. – С. 97 – 102.
3. **Бабец Д. В.** Численное моделирование влияния поверхности трещин при оценке прочности породного массива / **Д. В. Бабец, Е. А. Сдвижкова, Д. О. Сосна** // Вісник Криворізького національного університету. – 2018. – Вип. 47. – С. 169 – 175.
4. **Мануйленко Р. И.** Расчет напряженно-деформированного состояния и газонасыщенности массива при выемке угольного пласта / **Р. И. Мануйленко, И. А. Турбор** // Гірничий вісник. – 2014. – Вип. 97. – С. 301 – 305.
5. **Бугаева Н. А.** Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг длинного очистного забоя. Настройка модели / **Н. А. Бугаева, Ю. М. Селезнева, И. В. Назимко** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – Вип. 32. – С. 114 – 118.
6. **Мартовичий А. В.** Исследование параметров обрушения сложноструктурного породного массива при движении лавы от монтажной камеры на ПСП «шахта Стенная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» / **А. В. Мартовичий** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – №31. – С. 54 – 59.
7. Механизм сдвижения породных слоев над выработанным пространством / **Н. И. Лобков, С. В. Козырь, Л. Н. Крижановская, Р. М. Арутюнян** // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2015. – №15. – С. 21 – 30.
8. **Manchao H.** Longwall mining «cutting cantilever beam theory» and 110 mining method in China – The third mining science innovation / **H. Manchao, Z. Guolong, G. Zhibiao** // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2015. – №24. – С. 31 – 41.
9. Исследование нагружения крепи очистного комплекса в сложных горно-геологических условиях / **В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, М. В. Барабаш, В. Г. Черватюк**. // Уголь Украины. – 2015. – №6. – С. 31 – 35.
10. Stress changes around collapse column and the control technology by directly passing operation in longwall working face / [**C. Zhang, S. Tu, Q. Bai** та ін.]. // Journal of China University of Mining and Technology. – 2014. – №43. – С. 974 – 980.
11. **Suchowerska A.** Prediction of roof collapse of rectangular underground openings using two forms of the Mohr-Coulomb failure criterion / **A. Suchowerska, J. Hambleton, J. Carter** // AusRock 2014: Third Australasian Ground Control in Mining Conference. – 2014. – С. 11 – 31.
12. **Симанович Г. А.** К вопросу нагружения крепи очистных комплексов в сложных горно-геологических условиях / **Г. А. Симанович, Д. С. Астафьев, А. С. Гусев** // Mining of mineral deposits. – 2013. – №7. – С. 81 – 85.
13. **Власов, С.Ф.** Пространственное моделирование геомеханических процессов при подземной разработке месторождений: моногр. / **С.Ф. Власов, А.А. Сидельников**. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 222 с.
14. **Singh G.** A numerical modeling approach for assessment of progressive caving of strata and performance of hydraulic powered support in longwall workings / **G. Singh, U. Singh** // Computers and Geotechnics. – 2009. – №36. – С. 1142 – 1156.
15. **Verma A.** Statistical And Neural Regression Approach For Prediction of Longwall Chock-shield Support Pressure / **A. Verma, D. Deb** // 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics. – 2007. – С. 1 – 4.

Рукопис подано до редакції 01.10.2020

УДК 528.48

А.О. АННЕНКОВ, канд. техн. наук, доц.

Київський національний університет будівництва і архітектури

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ ГЕОДЕЗИЧНОМУ МОНІТОРИНГУ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Мета. Метою даної роботи є аналіз використання штучних нейронних мереж при геодезичному моніторингу інженерних споруд, а також знаходження оптимальної кількості нейронів, які максимально точно та якісно характеризують деформаційний процес.

Методи. Дослідження виконувалось на комплексі промислових об'єктів ММК «Азовсталь», де була створена геодезична система моніторингу інженерних споруд комбінату. Система складається з наступних елементів: 3 опорних геодезичних пункта примусового центрування у вигляді металевих трубчастих опор; 12 осадочних реперів, які закріплені у цоколь будівлі; 25 деформаційних марок, розташованих на несучих конструкціях будівлі; нівелір; тахеометр. На протязі 2,5 років виконувалось спостереження за деформаціями будівель та споруд з виявленням вертикальних осадок та планових здвигів споруд. Результати зйомок були оброблені спочатку стандартними функціями математичної статистики, а потім за допомогою методу нейронних мереж. Для цього використовувався модуль MATLAB. Була створена ШНМ, виконано її навчання, проведено моделювання та тестування, вибрані входні, скриті

та вихідні нейрони. У якості нейронної мережі прийнята мережа радіальних базисних ліній. Оцінка роботи ШНМ була виконана за допомогою матриці неточностей.

Наукова новизна. Досліджено найбільш придатну для моніторингу споруд ШНМ радіальних базисних ліній та визначена оптимальна кількість нейронів, які з максимальною точністю описують деформаційний стан споруди.

Практична значимість. Наукові дослідження використовуються в системах геодезичного моніторингу крупних промислових об'єктів Української індустрії.

Результати. Отримані результати дозволяють стверджувати, що оптимальною кількістю нейронів у прихованому шарі є 10. За таких умов забезпечується практично однакова точність апроксимації даних (СКП = 1,5 мм), точність підтвердження моделі (СКП = 1,5 мм) та точність перевірки моделі (СКП = 3,1 мм). При збільшенні кількості нейронів, практично необмежено підвищується точність апроксимації, проте точність перевірки моделі стрімко знижується. Для кількості нейронів рівній розміру вибірки СКП перевірки моделі перевищує 15 мм. Загалом, модель на 10-ти нейронах правильно відтворює коливальний характер деформаційного процесу і за умови включення до цієї моделі додаткових даних (дія технологічного обладнання, коливання температури тощо) дозволяє найбільш повно і достовірно описати деформаційний процес.

Ключові слова: моніторинг споруд, деформація будівельної конструкції, штучна нейронна мережа.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-8-16

Проблема та зв'язок її з науковими та практичними задачами. На сьогоднішній день в умовах стрімкого розвитку інженерної науки, гострим питанням стає розробка нових та вдосконалення існуючих методів та засобів обробки інформації, яку отримують в процесі геодезичного моніторингу за станом інженерних споруд. Розвиток нового обладнання та програмного забезпечення обумовлює пошук новітніх математичних методів обробки інформації, які забезпечать достатню точність та високу якість отриманих результатів.

На ряду з класичними методами обробки інформації, які інженери використовують у своїх розрахунках, на початку двадцять першого сторіччя з'являється метод обробки інформації, який спирається на досягненнях нейробіології. Потужним стимулом для дослідження в області штучних нейронних мереж (ШНМ), які є нелінійними системами, послужило те, що в багатьох інженерних задачах процес деформації інженерних споруд не можливо описати з достатньою точністю лінійною алгеброю і, навіть, поліномом. До того ж, застосування параметричних методів не завжди можливо, оскільки призводить до значного погіршення якості обробки інформації, тому що використані при синтезі системи моделі, в тому числі пропозиції о виді розподілу, не відповідають дійсності. В умовах малочисельних навчаючих вибірок класичні непараметричні методи також стають недостатньо ефективними.

Аналіз досліджень та публікацій. Вивчення штучних нейронних мереж розпочалось нещодавно з праць У. Маккалока та У. Пітса (1943р.), які й сформували поняття «нейронна мережа». Дослідженням ШНМ також займалися такі провідні вчені як Н. Вінер, Д. Хебб, Ф. Розенблатт, Т. Кохонен, Дж. Андерсон та інші. Використання ШНМ в інженерній науці розвивається великими темпами. В статті [1] запропоновано математичну модель певного технологічного процесу з урахуванням наявності інформації про її характеристики. Автори розглянули математичний апарат під назвою «Системний аналіз», який з достатньою точністю може охарактеризувати модель моніторингу споруди. В статті [2] автори довели можливість врахувати вплив рефракції та гравітаційного поля Землі на точність тригонометричного нівелювання і визначити відхилення прямовисних ліній із двостороннього тригонометричного нівелювання. Запропонований підхід дає змогу підвищити точність геодезичних спостережень при моніторингу споруд. В статті [3] аналізуються різні моделі побудови моделей моніторингу залежно від умов забезпечення спостережень наземних пунктів, розташованих в зоні розміщення об'єкта будівництва. В статті [6] використання штучних нейронних мереж для розв'язку задачі класифікації, яка полягає у створенні бінарного класифікатора та дослідження точності його роботи. В статтях [4, 5, 7-14] автори розкривають суттєву перевагу ШНМ при опису деформаційних процесів будівель та споруд над іншими математичними моделями.

Оскільки моніторинг будівель та споруд є дуже важливою інженерною діяльністю, то головним завданням є покращення ефективності цього управління. Невирішеними залишаються питання застосування методів, за допомогою яких можна досягти цієї ефективності.

Постановка задачі. Основними цілями даної статті є:

- вивчення принципів дії штучних нейронних мереж в процесі моніторингу інженерних споруд;
- дослідження їх функцій та позитивних і негативних сторін;

порівняльний аналіз та обґрунтування застосування штучних нейронних мереж для моніторингу інженерних споруд.

Викладення матеріалу та результати. На сьогоднішній день впровадження нових технологій у різних галузях не обходиться без застосування штучного інтелекту. У більшості досліджень при детальному розгляді можна знайти класичні постановки завдань для нейронних мереж.

На даний час найбільш поширене застосування ШНМ полягає в задачах розпізнавання образів, оптимізації, прогнозування тощо. Практичне застосування ШНМ пов'язане з вирішенням задач у багатьох сферах інженерної науки.

Коротко розглянемо математичні співвідношення для типової моделі нейрона (рис. 1).

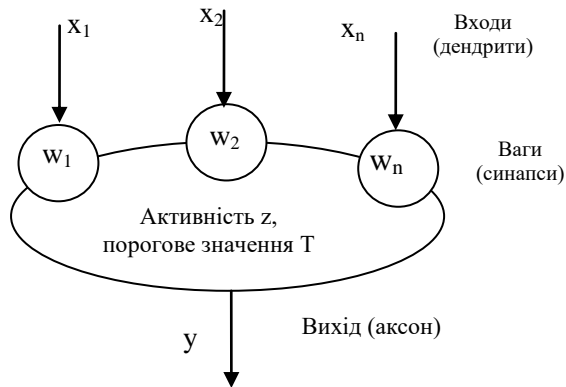


Рис. 1. Співвідношення для типової моделі нейрона

Позначимо через $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ вектор значень ознак образу, що розпізнається нейроном. Активність нейрона z можна представити у вигляді зваженої суми входів:

$$z(w, x) = \sum (w_i x_i) = w^T x,$$

де $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ - вектор вагових коефіцієнтів.

Для отримання сигналу на виході (аксоні) зважена сума (активність) повинна перевищувати порогове значення T . Тобто:

$$z(w, x) = w^T x - T.$$

З використанням розширених векторів зважену суму входів або активність нейрона можна представити:

$$z(w, x) = \sum (w_i x_i) - T = (w_0 = -T, w_1, \dots, w_n)^T (x_0 = 1, x_1, \dots, x_n) = w^T x.$$

Вихід нейрона визначається функцією активації або виходу $y = S(z)$, яка визначається внутрішньою активністю z .

Результуючу реакцію формального нейрона можна представити у вигляді функції перетворення нейрона

$$y = S(z(w, x)) = A(w, x).$$

З попереднього зрозуміло, що величезне значення для функціонування нейрона має функція активації. Існує велика кількість функцій активації. Для вирішення задач інтерполяції та апроксимації функцій застосовують лінійну або сигмоподібну функції активації

$$SG(z) = \exp(-z^2/\sigma^2).$$

Таку функцію активації або виходу мають, нейрони прихованого шару в нейромережах радіальних базисних функцій, які найкращим чином підходять до вирішення задач апроксимації.

Однією з основних властивостей ШНМ є здатність до навчання. Принципово існує декілька підходів до навчання ШНМ. Ми в подальшому будемо використовувати принцип, що базується на підході, коли в процесі навчання змінюються ваги зв'язків між нейронами.

Важливою ознакою класифікації нейронних мереж є наявність зворотних зв'язків:

мережі без зворотних зв'язків (FeedForward-Net або FF-Net) – графи без петель;
рекурентні мережі або мережі із зворотнім зв'язком (Feedback-Net або FB-Net).

В найбільш розповсюджених мережах першого класу - багатошарових перцептронах нейрони розташовані шарами і мають однонаправлені зв'язки між шарами.

В мережах з прямим розповсюдженням інформації виділяють FF-мережі першого та FF-мережі другого порядку. В FF-мережах першого порядку є зв'язки лише між нейронами шару

$N(i)$ до нейронів шару $N(i+1)$. В FF-мережах другого порядку існують зв'язки від нейронів шару $N(i)$ до нейронів шару $N(i+k)$.

Іншим прикладом мереж з прямим розповсюдженням інформації є мережі радіальних базисних функцій – RBF-мереж. Мережі радіальних базисних функцій є спеціальним типом нейронних мереж з прямими зв'язками. Основне їх призначення – апроксимація і інтерполяція багатовимірних функцій. Скільки завгодно точна апроксимація функцій досягається при цьому шляхом комбінації радіально симетричних функцій.

RBF-мережа містить один вхідний шар, один прихований шар нейронів, число яких зазвичай відповідає числу елементів в навчальній послідовності, і один вихідний шар з одного або декількох нейронів. На рис. 2 єдиний вихідний нейрон видає значення функції

$$y = f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Таким чином, за своєю будовою RBF-мережі – це двошарові FF-мережі першого порядку. Вхідний вектор x передається на нейрони прихованого шару. При цьому кожен нейрон прихованого шару отримує повну інформацію про вхідний вектор x . Кожен нейрон прихованого шару розраховує значення одновимірної функції h_i (наприклад, Гауса)

$$h_i(x) = \exp[-(\|x - x_i\|)^2 / (2\sigma^2)], \quad (1)$$

де x – вхідний вектор, x_i – i -а опорна точка, σ_i – параметр розсіювання для функції h_i .

Радіальні базисні функції h_i виконують попереднє оброблення вхідних векторів, визначаючи їх близькість до центрів x_i . Вихідні значення $h_i(x)$ – це ступені подібності між вхідним вектором x і окремими центрами x_i . На основі значень $h_i(x)$ визначається зважена сума.

Центри x_i визначаються на основі навчальної послідовності і мають ту ж розмірність n , що і вхідний вектор. Параметр σ_i визначається експериментально. Рис. 2 ілюструє принцип роботи нейрона прихованого шару.

З формули (1) отримуємо, що вихід нейрона i прихованого шару тим більше, чим ближче поточний вхід x до центру x_i . Вихід f RBF-мережі визначається у вигляді зваженої суми

$$f(x) = y = \sum (c_i h_i(x)).$$

Нейрони вихідного шару утворюють, лінійну комбінацію виходів нейронів прихованого шару (hidden layer). Їх функція активації або виходу – це радіальна базисна функція.

Одновимірні RBF-мережі можуть бути узагальнені на багатовимірні функції. В цьому випадку у вихідному шарі розміщуються m нейронів по числу функцій, що апроксимуються (або інтерполюються), причому значення на виході j -го нейрона вихідного шару визначаються наступним чином

$$y_j = \sum c_{ij} h_i / \sum h_i.$$

У RBF-мережах як опорні точки можуть бути використані образи навчальної послідовності. В нашому випадку образами навчальної послідовності є залишкові відхилення на опорних точках, що отримані після виключення загальної систематичної похибки. RBF-мережа в порівнянні з іншими нейромережами має суттєві переваги.

По-перше, функція активації або виходу прихованого нейрона набуває великих значень лише в тих випадках, коли вхідний образ знаходиться поблизу від опорної точки цього нейрона. Для входів поза областю образів навчальної послідовності, мережа формує лише невеликі значення на своїх виходах. По-друге, проста структура RBF-мереж, робить можливим прямий (не ітеративний) розрахунок ваг мережі. У цьому – її велика перевага в порівнянні з іншими типами нейронних мереж, які в більшості випадків використовують трудомісткі рекурентні алгоритми навчання.

Ефективність ШНМ була експериментально досліджена при геодезичному моніторингу промислових об'єктів ММК «Азовсталь» у м. Маріуполь. Опорна геодезична мережа, у вигляді трьох пунктів з примусовим центруванням була закріплена з трьох сторін цеху заводу (рис. 2). Осадочні та деформаційні марки закріплені безпосередньо на будівлі в рівні фундаменту.



Рис. 2. Пункти опорної мережі геодезичної системи моніторингу (а); осадочні марки (б); деформаційні марки (в)

Дослідження деформацій будівлі виконувалось на протязі 2,5 років з частотою в 1 місяць. За результатами геодезичного моніторингу виконаємо моделювання та прогнозування переміщень будівлі різними математичними методами.

Перш за все побудуємо декілька моделей за стандартною схемою методу найменших квадратів та оцінимо параметри найбільш розповсюджених у практиці спостереження за переміщеннями моделей: поліноміальної, експоненціальної та тригонометричної. Результати моделювання наведено на рис. 3.

За отриманими моделями спостережень ми отримали СКП 3,1мм. Попри достатньо хороші результати, одразу впадає в око той факт, що виміряні переміщення коливаються відносно модельної кривої. Підвищення степеня поліному або будь-якої іншої кривої веде до зниження точності визначення коефіцієнтів, а отже не дозволяє повною мірою моделювати фізичний процес переміщень.

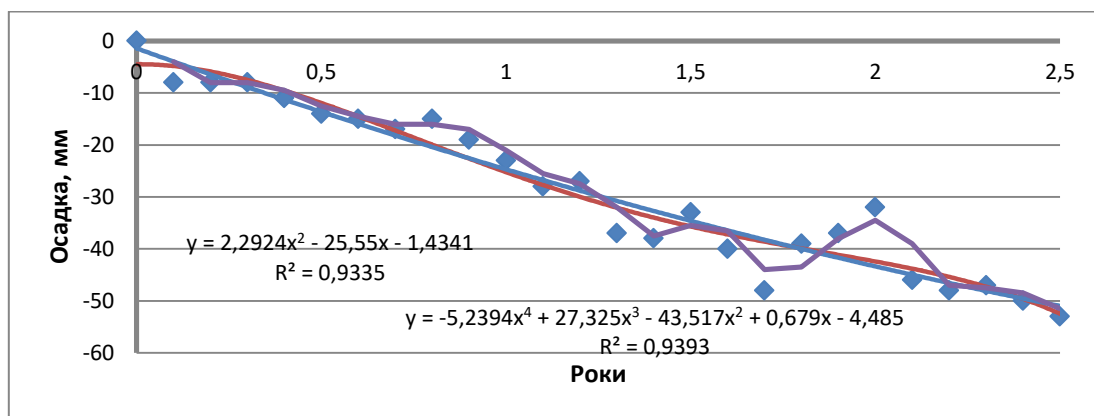


Рис. 3. Графік моделювання переміщень методами найменших квадратів

Використаємо стандартну нейронну мережу для моделювання переміщень з одним прихованим шаром.

При моделюванні даних за допомогою нейронних мереж найбільш важливим питанням є визначення оптимальної кількості нейронів у прихованому шарі. Можна рекомендувати скористатися наступним виразом для розрахунку кількості нейронів:

$$mN / (1 + \log_2 N) \leq m(N/m + 1)(n + m + 1) + m,$$

де n - кількість вхідних нейронів ($n = 1$); m - кількість вихідних нейронів ($m = 1$); N - кількість елементів у навчальній вибірці ($N = 32$); L_w - кількість синаптичних ваг.

Кількість нейронів у прихованому шарі буде

$$L = L_w / (n + m) \rightarrow 12 \leq L \leq 328.$$

Виконаємо дослідження якості і точності моделювання вертикальних переміщень для різної кількості нейронів, побудуємо мережі з 5, 10, 20, 30 та 40 нейронів. Результати моделювання наведено на рис. 4-10.

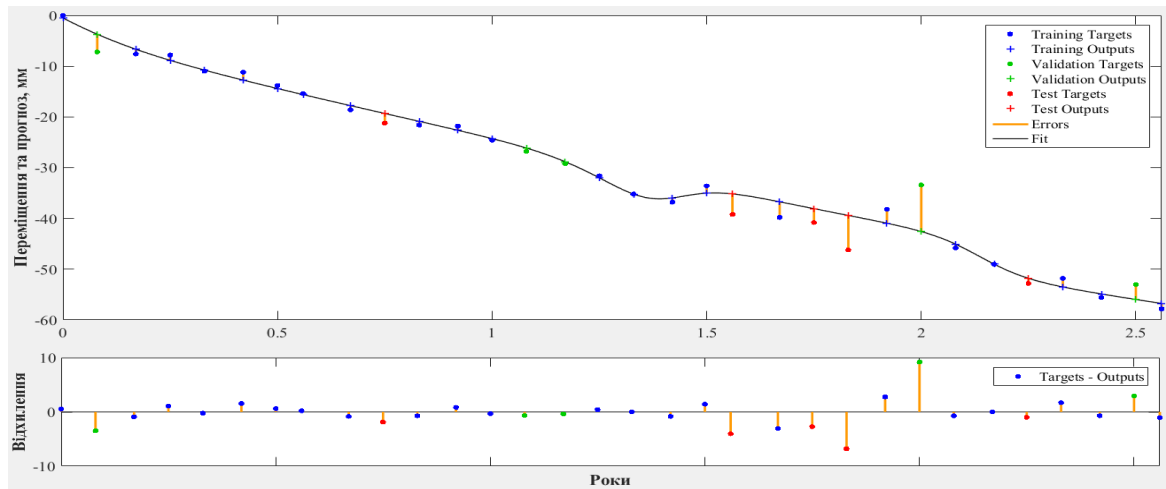


Рис. 4. Графік вимірених та оцінених ШМ переміщень на 5-ти нейронах

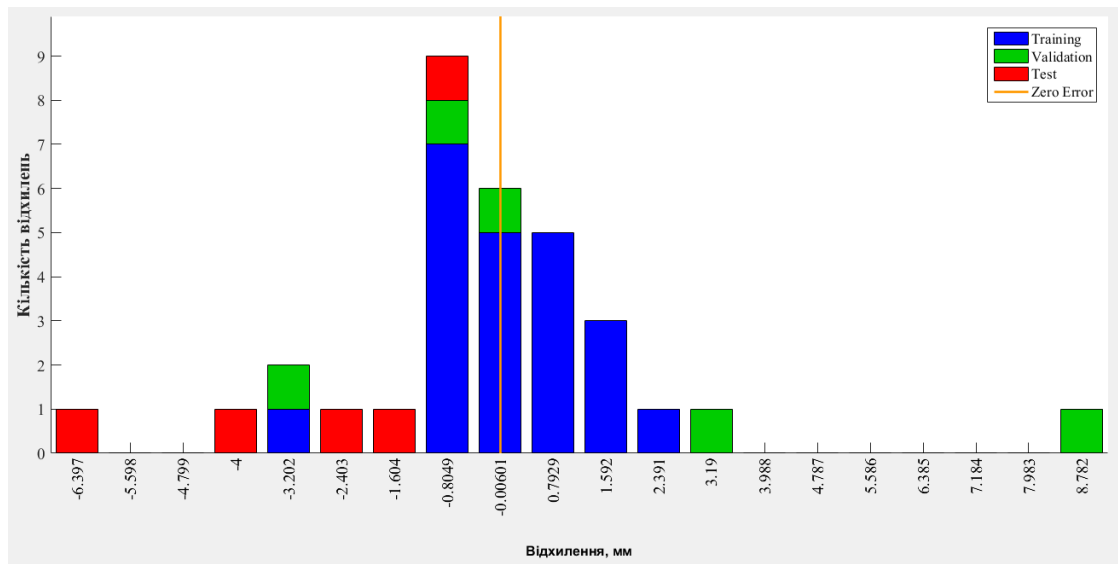


Рис. 5. Гістограма розподілу відхилень за результати моделювання ШМ на 5-ти нейронах

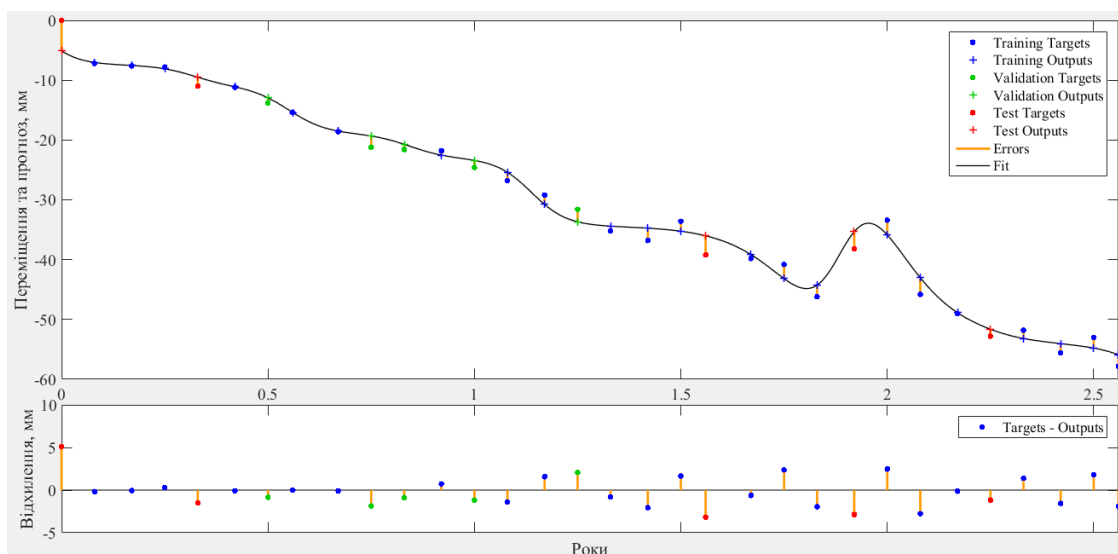


Рис. 6. Графік вимірених та оцінених ШМ переміщень на 10-ти нейронах

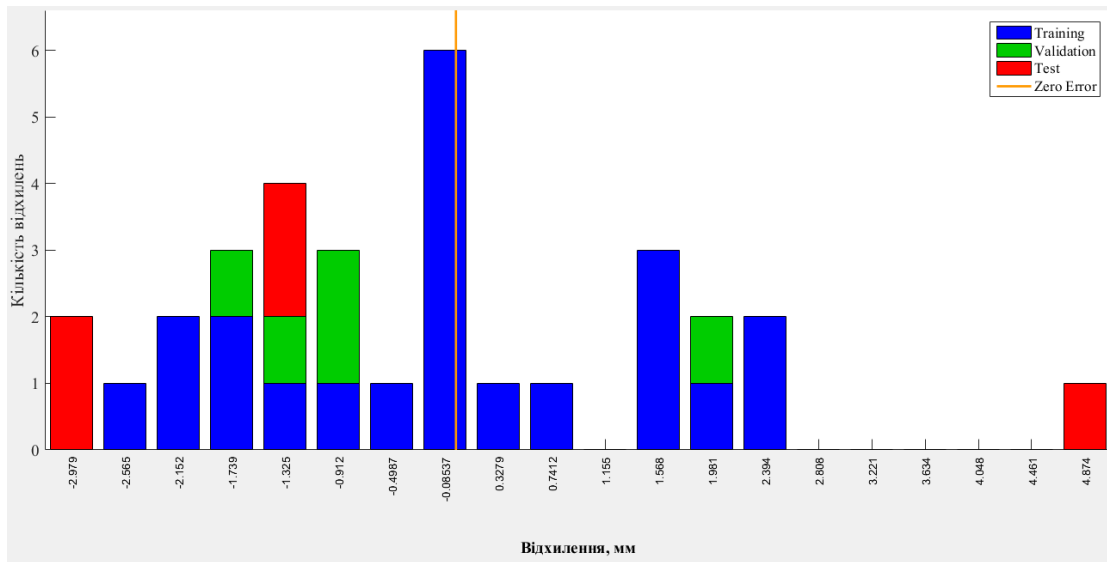


Рис. 7. Гістограма розподілу відхилень за результатами моделювання ШНМ на 10-ти нейронах

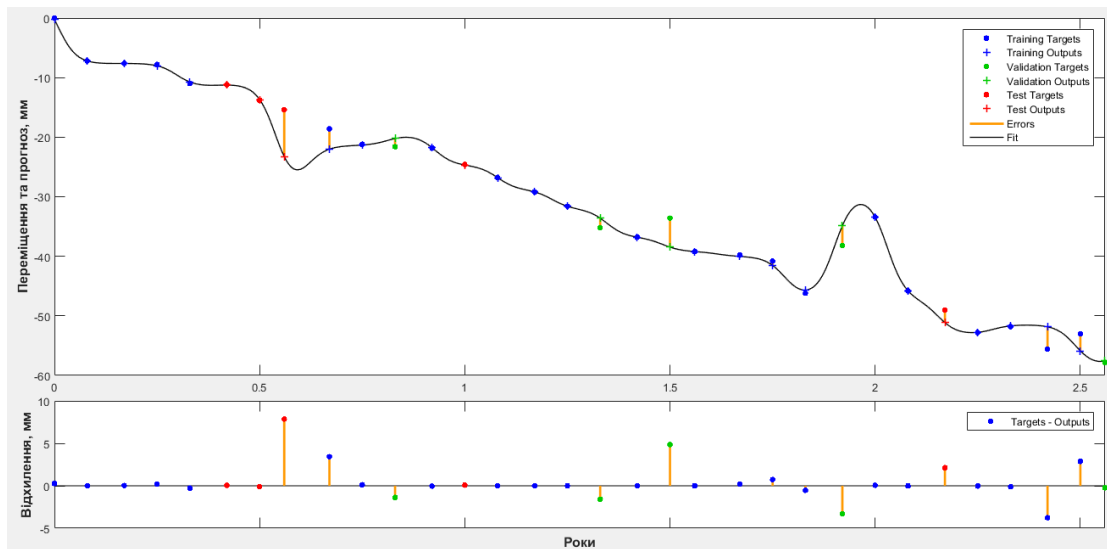


Рис. 8. Графік вимірних та оцінених ШНМ переміщень на 20-ти нейронах

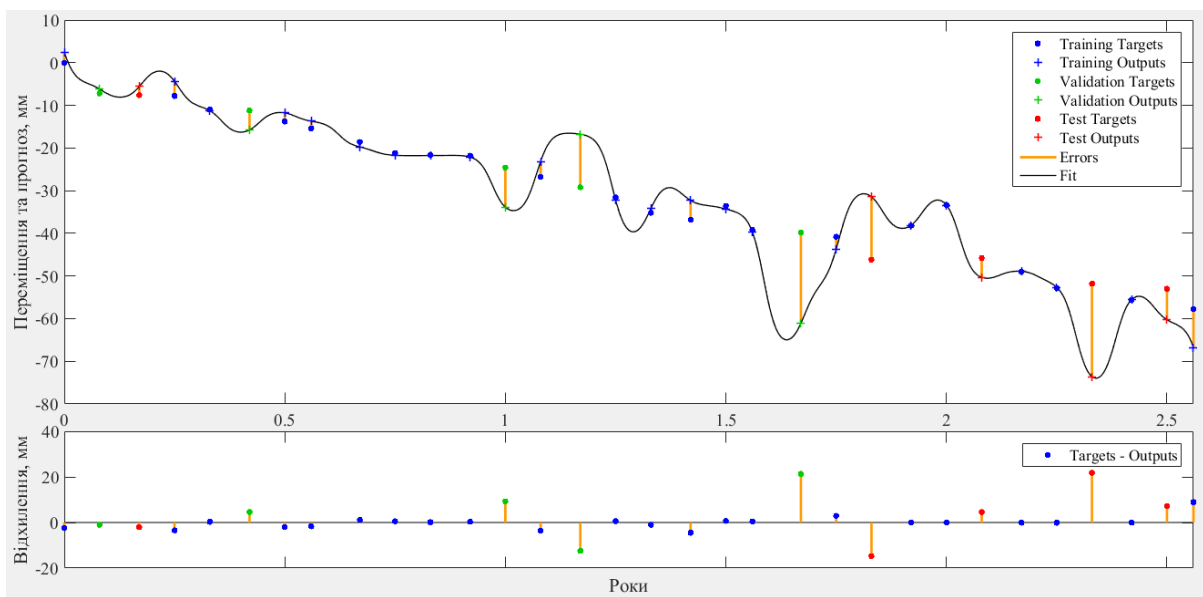


Рис. 9. Графік вимірних та оцінених ШНМ переміщень на 30-ти нейронах

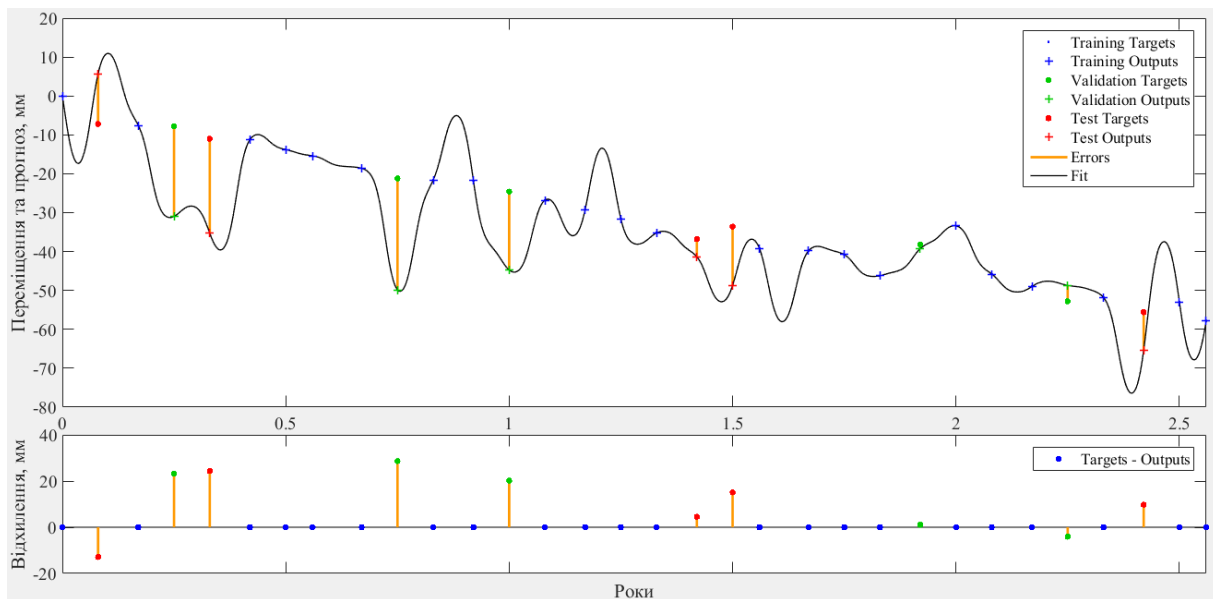


Рис. 10. Графік вимірених та оцінених ШНМ переміщень на 40-а нейронах

Висновки та напрями подальших досліджень. Отримані результати дозволяють стверджувати, що деформаційний процес інженерних споруд є досить складною в математичному аспекті моделлю. Обробка класичними методами математичної статистики призводить до погіршення точності результатів прогнозування деформацій споруд. Навіть збільшення ступеня поліному не покращує результату, а навпаки призводить до математичного навантаження процесу обробки та зниженню точності. Найкращим методом обробки результатів моніторингу споруд є методи нейронних мереж. Доведено, що оптимальною кількістю нейронів у прихованому шарі є 10. За таких умов забезпечується практично однакова точність апроксимації даних (СКП = 1,5 мм), точність підтвердження моделі (СКП = 1,5 мм) та точність перевірки моделі (СКП = 3,1 мм). При збільшенні кількості нейронів, практично необмежено підвищується точність апроксимації, проте точність перевірки моделі стрімко знижується. Для кількості нейронів рівній розміру вибірки СКП перевірки моделі перевищує 15 мм. Загалом, модель на 10-ти нейронах правильно відтворює коливальний характер деформаційного процесу і за умови включення до цієї моделі додаткових даних (дія технологічного обладнання, коливання температури тощо) дозволяє найбільш повно і достовірно описати деформаційний процес.

Список літератури

1. Д.В. Бровко, В.В. Хворост, В.В. Кононенко. Построение системы мониторинга надежности элементов зданий и сооружений поверхностного комплекса шахт на базе оценки энтропии. Гірничий вісник, вип. 107, 2020. С. 73-83.
2. П. Д. Дзуліт, З. Дзуліт, І.С. Сідоров. Визначення відхилень прямовисних ліній з використанням тригонометричного нівелювання та GNSS вимірювань. Міжвідомчий науково-технічний збірник «Геодезія, картографія і аерофотознімання» 2019. Вип. 89. С. 12-19.
3. П. І. Баран. Методи непрямої передачі координат пунктів внутрішньої геодезичної мережі будівлі на монтажний горизонт. Міжвідомчий науково-технічний збірник «Геодезія, картографія і аерофотознімання» Випуск 90, 2019, С. 12-18.
4. П. І. Баран. Ефективні методи апроксимації та прогнозування осідань інженерних споруд. Міжвідомчий науково-технічний збірник «Геодезія, картографія і аерофотознімання» 2018; Випуск 87. С. 5-15
5. Баран П. І. Врахування температурної деформації при вимірюванні горизонтальних і вертикальних зміщень інженерних споруд. Вісн. Геодез. та картогр. 2007. Вип. №4. С. 14–20.
6. Рудий Р. Застосування штучних нейронних мереж для класифікації ділянок поверхні з певним рельєфом. Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідомчий науково-технічний збірник . 2016. Вип. 83. С. 124–132.
7. Chibiriakov V., Shults R., Bilous M. The Method of Accuracy Calculation for Deformations Monitoring for Subway Tunnels during Construction. Bulletin of Donetsk National Technical University, pp. 7.
8. Chrzanowski A. Optimization of the Breakthrough Accuracy in Tunneling Surveys. The Canadian Surveyor, Vol. 35, No 1, pp. 5- 16.
9. Chrzanowski A., Yong C. I. Identification of deformation models in space and time domain. Survey Review, 33(263), pp. 518–528.
10. Pantazis G., Alevizakou E-G. The Use of Artificial Neural Networks in Predicting Vertical Displacements of Structures, International Journal of Applied Science and Technology 3(5): pp. 1–8.

11. **Protopapadakis E., Stentoumis C., Doulamis N., Doulamis A., Loupos K., Makantasis K., Kopsiaftis G., Amditis A.** Autonomous robotic inspection in tunnels. In: Proc of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. – Vol. III-5. – pp. 167-174.

12. **Scaioni M., Barazzetti L., Giussani A., Previtali M., Roncoroni F., Alba M.I.** Photogrammetric techniques for monitoring tunnel deformation. Earth Science Informatics, Vol. 7, Issue 2, pp. 83–95.

13. **Trevor Greening W. J., Robinson G.L., Robbins J.S., Ruland R.E.** Control Surveys for Underground Construction of the Superconducting Super Collider. Stanford Linear Accelerator Center. pp. 267-274.

14. **van Gosliga R., Lindenbergh R., Pfeifer, N.** Deformation Analysis of a Bored Tunnel by Means of Terrestrial Laser Scanning. In: Proc of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. – Vol. XXXV. – pp. 167-172.

Рукопис подано до редакції 01.10.2020

УДК 622.8.012.2:658.382.3

Д.А. НОСАЛЬ, менеджер, Ю.Н. ТРУБНИКОВ, руководитель

ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь»

В.Г. ШЕВЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ НАРУШЕНИЙ ПО ОСНОВНЫМ ТРАВМИРУЮЩИМ ФАКТОРАМ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Цель. Определение частоты нарушений по основным травмирующим факторам на угольных шахтах и установление закономерностей влияния количества нарушений, их частоты на уровень травматизма.

Методы. Анализ общего и смертельного травматизма проводился с помощью методов математической статистики, связь между параметрами устанавливалась методом регрессионного и корреляционного анализа.

Научная новизна. Впервые установлены закономерности изменения коэффициента частоты нарушений, числа нарушений и % числа несчастных случаев от количества нарушений, а также взаимосвязи между коэффициентом частоты нарушений и случаями травматизма по основным травмирующим факторам: «шахтный транспорт», «конвейерный транспорт», «машины и механизмы», «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность».

Практическая значимость. Разработана методика определения коэффициента частоты нарушений, которая учитывает число нарушений и часы проверок.

Результаты. Проведен анализ общего и смертельного травматизма предприятий ББ Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» за 2019 год по следующим основным факторам: шахтный транспорт, конвейерный транспорт, машины и механизмы, падение при передвижении, обрушение породы, падание предметов, ручной инструмент, другие факторы. Определены закономерности изменения коэффициента частоты нарушений, числа нарушений и числа несчастных случаев от количества нарушений. В целом по всем предприятиям наибольший коэффициент частоты нарушений наблюдается по факторам «машины и механизмы», «конвейерный транспорт», «шахтный транспорт», наименьший – по факторам «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность», что также характерно и для числа нарушений. % числа несчастных случаев от количества нарушений в целом и по фактору «шахтный транспорт» выше, чем по факторам «машины и механизмы» и «конвейерный транспорт». При наличии общих тенденций в превалировании нарушений по тем или иным факторам в целом для ББУ, для каждого конкретного ШУ нельзя сказать об устойчивых тенденциях изменения как коэффициента числа нарушений, числа нарушений и % числа несчастных случаев от количества нарушений. Также нельзя говорить о наличии устойчивой связи между числом нарушений и числом случаев травматизма для каждого конкретного ШУ.

Ключевые слова: безопасность, частота нарушений, случаи травматизма, травмирующие факторы, система управления охраной труда.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-16-24

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Одним из основных мероприятий по повышению уровня безопасности является внедрение систем управления производством и охраной труда, основанных на управлении рисками, что регламентируется рядом международных стандартов [1-3].

В рамках функционирования системы управления охраной труда (СУОТ) на предприятиях Бизнес-блока Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» разработано и внедрено ряд процедур и методик, направленных на совершенствование СУОТ: процедура идентификации опасностей и оценки рисков в области охраны труда; процедура классификации, анализа и реагирования на опасные действия; методика оценки руководителей угольной шахты в области охраны труда [4-6].

В тоже время травматизм и аварийность на предприятиях пока остаются на достаточно высоком уровне. Одними из основных причин аварийности и травматизма являются нарушения нормативов (правил безопасности, инструкций, регламентов и пр.) ведения горных работ со стороны работников.

Анализ исследований и публикаций. Вопросам определения риска, его вероятности, управлению рисками на шахтах посвящены работы ученых из Китая, Мексики, Турции, Польши, Украины и других стран [7-13]. Различным аспектам управления рисками при добыче полезных ископаемых и повышению безопасности подземных горных работ посвящены работы [14-20].

Однако, до настоящего времени не исследованы вопросы определения частоты нарушений по основным травмирующим факторам и их влияния на травматизм на угольных шахтах.

Постановка задачи. Определение частоты нарушений по основным травмирующим факторам на угольных шахтах и установление закономерностей влияния количества нарушений, их частоты на уровень травматизма является актуальной научной задачей, которая имеет важное значение для повышения безопасности ведения горных работ.

Изложение материала и результаты. Проведен анализ общего и смертельного травматизма предприятий ББ Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» за 2019 год по следующим основным факторам: шахтный транспорт, конвейерный транспорт, машины и механизмы, падение при передвижении, обрушение породы, падение предметов, ручной инструмент, другие факторы. Результаты анализа приведены на рис. 1.

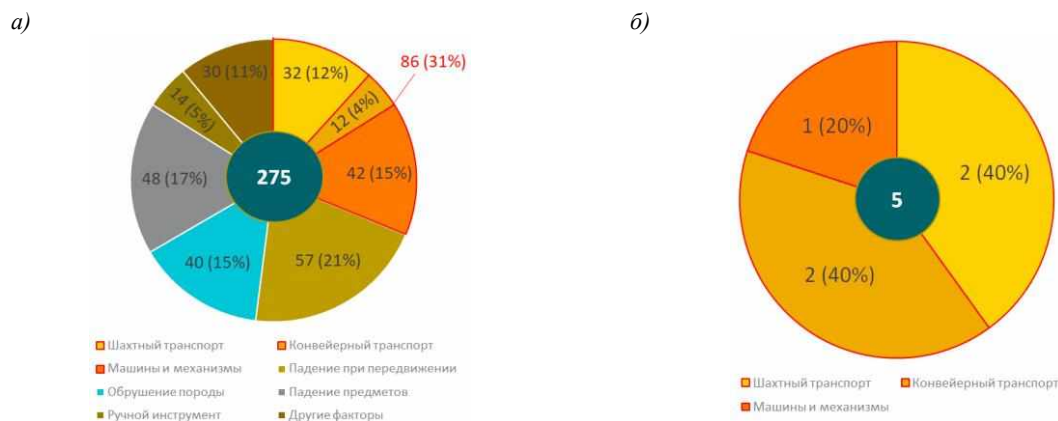


Рис. 1. Общий (а) и смертельный (б) травматизм по основным травмирующим факторам

Результаты анализа общего травматизма показывают, что за 2019 год допущено 275 несчастных случаев, из них по факторам «Шахтный транспорт», «Конвейерный транспорт», «Машины и механизмы» допущено 86 случаев, что составляет 31 % от общего числа травм.

Анализ смертельного травматизма показывает, что за 2019 год допущено 5 несчастных случаев со смертельным исходом, все по факторам «Шахтный транспорт», «Конвейерный транспорт», «Машины и механизмы».

Проведен расчет частоты нарушений по основным травмирующим факторам. Коэффициент частоты нарушений рассчитывается по формуле

$$K_{чн} = \frac{H}{Ч},$$

где H - общее количество нарушений; $Ч$ - часы проверок, ч.

В табл. 1 приведен расчет коэффициента частоты нарушений по предприятиям ББ Уголь.

Таблица 1

Расчет коэффициента частоты нарушений			
Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	4120	5826	0,71
ШУ «Героев Космоса»	299	567	0,53
ШУ «Павлоградское»	436	756	0,58
ШУ «Терновское»	549	864	0,64
ШУ «Днепровское»	477	870	0,55
ШУ «Першотравенское»	422	915	0,46
ШУ «Добропольское»	663	1059	0,63
ШУ «Белозерское»	1274	795	1,60

На рис. 2 приведен пирамиды нарушений для ББУ и для каждого из предприятий.

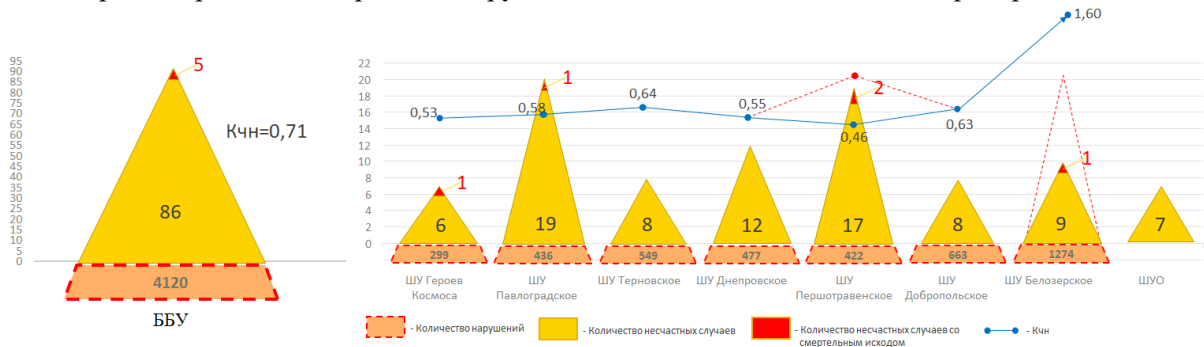


Рис. 2. Пирамиды нарушений

Анализ данных показывает, что наибольшее число нарушений наблюдалось на ШУ «Белозерское» (1274), ШУ «Добропольское» (663) и ШУ «Терновское» (549). Наибольшее количество несчастных случаев наблюдалось на ШУ «Павлоградское» (19), ШУ «Першотравенское» (17) и ШУ «Днепроовское» (12). Проведенный корреляционный анализ показывает, что связь между количеством нарушений и количеством несчастных и смертельных случаев несущественна (коэффициенты корреляции r составляют соответственно -0,24 и -0,06), в тоже время связь между количеством несчастных и смертельных случаев существует ($r = 0,51$).

Так, для ШУ «Павлоградское» число несчастных случаев составляло 4,35 % от количества нарушений, для ШУ «Першотравенское» - 4 %, а для ШУ «Белозерское», для которого наблюдалось наибольшее число нарушений и наибольший коэффициент числа нарушений, - всего 0,7 %. В целом для предприятий ББУ данный показатель составляет 2 %. Для предприятий, для которых соотношение между общим числом несчастных случаев и количеством нарушений наибольшее, первоочередное внимание следует уделять анализу и снижению рисков травматизма по основным травмирующим факторам.

В табл. 2 представлены данные о травматизме по фактору «шахтный транспорт» предприятий ББУ в период с 2016 по 2019 годы.

Таблица 2

Травматизм по фактору «шахтный транспорт»

Предприятие	Количество несчастных случаев	Количество смертельных случаев
ББУ	98	5
ШУ «Героев Космоса»	11	0
ШУ «Павлоградское»	17	0
ШУ «Терновское»	10	0
ШУ «Днепроовское»	11	0
ШУ «Першотравенское»	23	2
ШУ «Добропольское»	10	1
ШУ «Белозерское»	9	1
ШУ «Обуховская»	7	1

По годам общий травматизм распределился следующим образом: 2016 – 23 несчастных случая и 1 смертельный; 2017 – 31 и 0; 2018 – 14 и 2; 2019 – 30 и 2, соответственно. Для травматизма по фактору «шахтный транспорт» теснота связи между количеством несчастных и смертельных случаев невысокая ($r = 0,39$).

В табл. 3 приведен расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «шахтный транспорт» в 2019 г.

Таблица 3

Расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «шахтный транспорт»

Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	1472	1942	0,76
ШУ «Героев Космоса»	94	189	0,50
ШУ «Павлоградское»	226	252	0,90
ШУ «Терновское»	241	288	0,84
ШУ «Днепроовское»	199	290	0,69
ШУ «Першотравенское»	147	305	0,48
ШУ «Добропольское»	233	353	0,66
ШУ «Белозерское»	332	265	1,25

Пирамиды нарушений приведены на рис. 3.

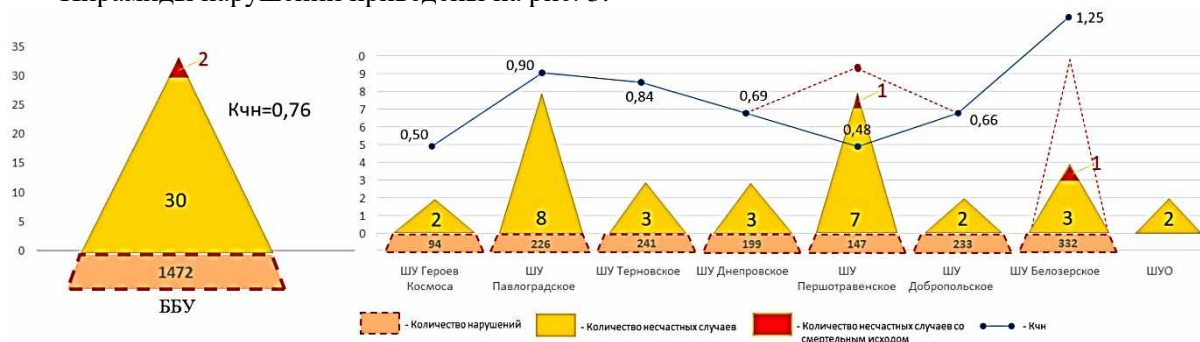


Рис. 3. Пирамиды нарушений по фактору «шахтный транспорт»

Анализ данных показывает, что наибольшее число нарушений по фактору «шахтный транспорт» наблюдалось на ШУ «Белоозерское» (332), ШУ «Терновское» (241) и ШУ «Добропольское» (233). Наибольшее количество несчастных случаев наблюдалось на ШУ «Павлоградское» (8), ШУ «Першотравенское» (7), что практически совпадает с данными по общему числу нарушений. Проведенный корреляционный анализ показывает, что связь между количеством нарушений и количеством несчастных и смертельных случаев незначительна (коэффициенты корреляции r составляют соответственно $-0,007$ и $0,27$), также незначительна связь между количеством несчастных и смертельных случаев ($r = 0,28$).

Так, для ШУ «Павлоградское» число несчастных случаев составляло 3,53 % от количества нарушений, для ШУ «Першотравенское» - 4,76 %, а для ШУ «Белоозерское», для которого наблюдалось наибольшее число нарушений и наибольший коэффициент числа нарушений, - всего 0,9 %. В целом для предприятий ББУ данный показатель составляет 2 %. Статистический анализ данных по фактору «шахтный транспорт» практически совпадает с таким по общему травматизму по предприятиям БУ Уголь.

В табл. 4 представлены данные о травматизме по фактору «конвейерный транспорт» предприятий ББУ в период с 2016 по 2019 годы.

Таблица 4

Травматизм по фактору «конвейерный транспорт»

Предприятие	Количество несчастных случаев	Количество смертельных случаев
ББУ	31	5
ШУ «Героев Космоса»	2	1
ШУ «Павлоградское»	2	1
ШУ «Терновское»	5	0
ШУ «Днепроовское»	3	0
ШУ «Першотравенское»	7	2
ШУ «Добропольское»	6	0
ШУ «Белоозерское»	2	0
ШУ «Обуховская»	4	1

По годам общий травматизм распределился следующим образом: 2016 – 8 несчастных случаев и 1 смертельный; 2017 – 8 и 1; 2018 – 5 и 1; 2019 – 10 и 2, соответственно. Для травматизма по фактору «конвейерный транспорт» теснота связи между количеством несчастных и смертельных случаев невысокая ($r = 0,26$).

В табл. 5 приведен расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «конвейерный транспорт» в 2019 г.

Таблица 5

Расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «конвейерный транспорт»

Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	1145	1942	0,59
ШУ «Героев Космоса»	92	189	0,49
ШУ «Павлоградское»	114	252	0,45
ШУ «Терновское»	124	288	0,43
ШУ «Днепроовское»	87	290	0,30
ШУ «Першотравенское»	99	305	0,32
ШУ «Добропольское»	208	353	0,59
ШУ «Белоозерское»	421	265	1,59

Пирамиды нарушений приведены на рис. 5. Анализ данных показывает, что наибольшее число нарушений по фактору «конвейерный транспорт» наблюдалось на ШУ «Белозерское» (421), ШУ «Добропольское» (208) и ШУ «Терновское» (124). Наибольшее количество несчастных случаев наблюдалось на ШУ «Добропольское», ШУ «Першотравенское» и ШУ «Обуховская» - по 2. Проведенный корреляционный анализ показывает, что связь между количеством нарушений и количеством несчастных и смертельных случаев незначительна (коэффициенты корреляции r составляют соответственно 0,11 и -0,32), также незначительна связь между количеством несчастных и смертельных случаев ($r=0,35$).

Так, для ШУ «Павлоградское» число несчастных случаев составляло 0,87 % от количества нарушений, для ШУ «Героев Космоса» - 1,08 %, для ШУ «Першотравенское» - 2,02 %, а для ШУ «Белозерское», для которого наблюдалось наибольшее число нарушений и наибольший коэффициент числа нарушений, - всего 0,23 %. В целом для предприятий ББУ данный показатель составляет 0,87 %. Результаты статистического анализа данных по фактору «конвейерный транспорт» во многом совпадают с таковыми по общему травматизму и по травматизму по фактору «шахтный транспорт».

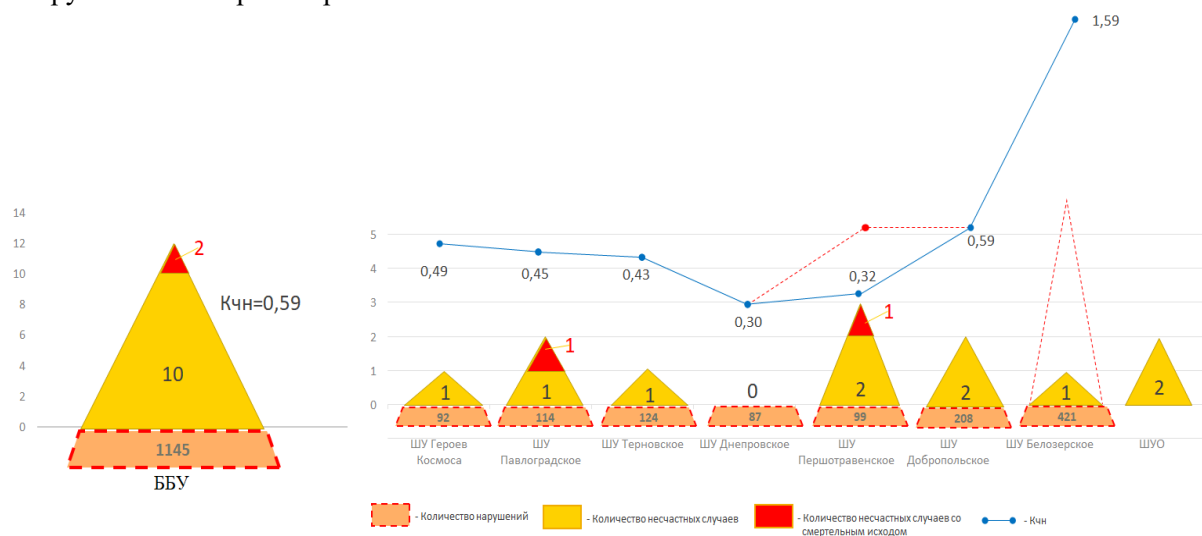


Рис. 4. Пирамиды нарушений по фактору «конвейерный транспорт»

В табл. 6 представлены данные о травматизме по фактору «машины и механизмы» предприятий ББУ в период с 2016 по 2019 годы.

Таблица 6

Травматизм по фактору «машины и механизмы»

Предприятие	Количество несчастных случаев	Количество смертельных случаев
ББУ	160	4
ШУ «Героев Космоса»	15	3
ШУ «Павлоградское»	37	1
ШУ «Терновское»	13	0
ШУ «Днепропольское»	30	0
ШУ «Першотравенское»	22	0
ШУ «Добропольское»	15	0
ШУ «Белозерское»	19	0
ШУ «Обуховская»	9	0

По годам общий травматизм распределился следующим образом: 2016 – 50 несчастных случаев и 0 смертельных; 2017 – 37 и 0; 2018 – 32 и 3; 2019 – 41 и 1, соответственно. Для травматизма по фактору «машины и механизмы» теснота связи между количеством несчастных и смертельных случаев невысокая ($r=0,02$).

В табл. 7 приведен расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «машины и механизмы» в 2019 г.

Расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «машины и механизмы»

Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	1503	1942	0,77
ШУ «Героев Космоса»	113	189	0,60
ШУ «Павлоградское»	96	252	0,38
ШУ «Терновское»	184	288	0,64
ШУ «Днепровское»	191	290	0,66
ШУ «Першотравенское»	176	305	0,58
ШУ «Добропольское»	222	353	0,63
ШУ «Белозерское»	521	265	1,97

Пирамиды нарушений приведены на рис. 5. Анализ данных показывает, что наибольшее число нарушений по фактору «машины и механизмы» наблюдалось на ШУ «Белозерское» (521), ШУ «Добропольское» (222) и ШУ «Днепровское» (191). Наибольшее количество несчастных случаев наблюдалось на ШУ «Павлоградское» (9), ШУ «Днепровское» (9) и ШУ «Першотравенское» (6). Проведенный корреляционный анализ показывает, что связь между количеством нарушений и количеством несчастных и смертельных случаев незначительна (коэффициенты корреляции r составляют соответственно $-0,25$ и $-0,31$), однако связь между количеством несчастных и смертельных случаев существует ($r = -0,56$).

Так, для ШУ «Павлоградское» число несчастных случаев составляло 9,37 % от количества нарушений, для ШУ «Днепровское» - 4,7 %, для ШУ «Першотравенское» - 3,4 %, а для ШУ «Белозерское», для которого наблюдалось наибольшее число нарушений и наибольший коэффициент числа нарушений, - всего 0,76 %. В целом для предприятий ББУ данный показатель составляет 0,66 %. Результаты статистического анализа данных по фактору «машины и механизмы» во многом совпадают с таковыми по общему травматизму, по травматизму по факторам «шахтный транспорт» и «конвейерный транспорт».

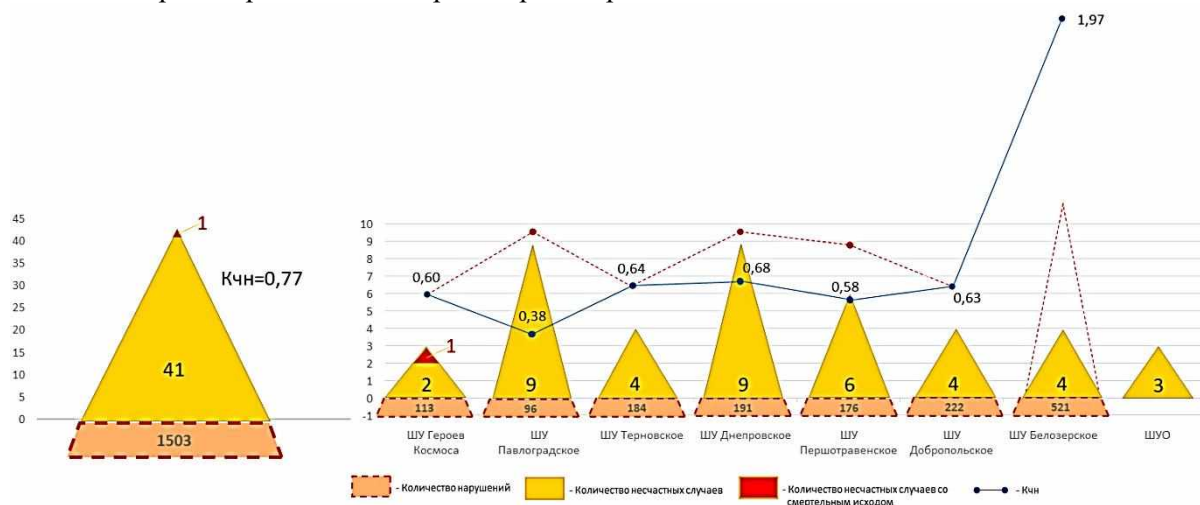


Рис. 5. Пирамиды нарушений по фактору «машины и механизмы»

В табл. 7 и 8 приведены расчеты коэффициента частоты нарушений по факторам «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность» в 2019 г.

Таблиця 7

Расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «пылегазовый режим»

Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок ч	Коэффициент частоты нарушений,
ББУ	373	1942	0,19
ШУ «Героев Космоса»	48	189	0,25
ШУ «Павлоградское»	90	252	0,36
ШУ «Терновское»	51	288	0,18
ШУ «Днепровское»	69	290	0,24
ШУ «Першотравенское»	62	305	0,20
ШУ «Добропольское»	34	353	0,10
ШУ «Белозерское»	19	265	0,07

Расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «взрывобезопасность»

Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	333	1942	0,17
ШУ «Героев Космоса»	67	189	0,35
ШУ «Павлоградское»	29	252	0,12
ШУ «Терновское»	50	288	0,17
ШУ «Днепровское»	27	290	0,09
ШУ «Першотравенское»	26	305	0,09
ШУ «Добропольское»	53	353	0,15
ШУ «Белозерское»	81	265	0,31

Графики изменения коэффициента частоты нарушений приведены на рис. 6. Анализ данных показывает, что наибольшее число нарушений по фактору «пылегазовый режим» наблюдалось на ШУ «Павлоградское» (90), ШУ «Днепровское» (69) и ШУ «Першотравенское» (62); по фактору «взрывобезопасность» на ШУ «Белозерское» (81), ШУ «Героев Космоса» (67) и ШУ «Добропольское» (53). Наибольший коэффициент частоты нарушений был по фактору «пылегазовый режим» для ШУ «Павлоградское» (0,36), ШУ «Героев Космоса» (0,25) и ШУ «Днепровское» (0,24); по фактору «взрывобезопасность» для ШУ «Героев Космоса» (0,35), ШУ «Белозерское» (0,31) и ШУ «Терновское» (0,17).

На рис. 7 приведены значения коэффициента частоты нарушений, числа нарушений (Q_n) и % числа несчастных случаев от количества нарушений в целом и по каждому из факторов.

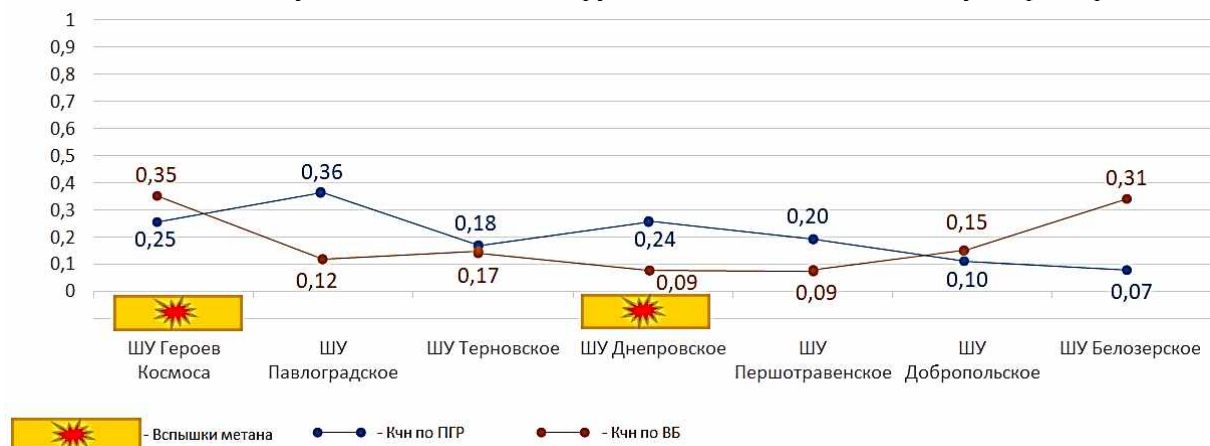


Рис.6. Изменение коэффициента частоты нарушений по факторам «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность»

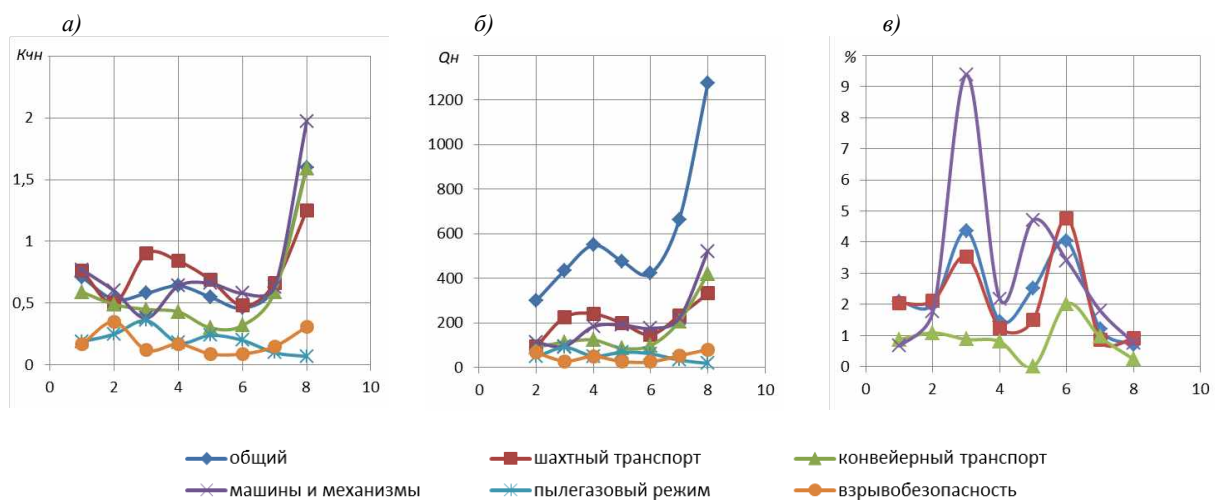


Рис. 7. Изменение коэффициента частоты нарушений (а), числа нарушений (б) и % числа несчастных случаев от количества нарушений (в): 1 – ББУ; 2 – ШУ «Героев Космоса»; 3 – ШУ «Павлоградское»; 4 – ШУ «Терновское»; 5 – ШУ «Днепровское»; 6 – ШУ «Першотравенское»; 7 – ШУ «Добропольское»; 8 – ШУ «Белозерское»

Анализ данных показывает, что максимальное значение коэффициента частоты нарушений в целом и по таким факторам, как «машины и механизмы», «конвейерный транспорт», «шахтный транспорт» у ШУ «Белозерское», в то время как значения данного показателя по фактору «взрывобезопасность» одно из наименьших. Значения числа нарушений для данного ШУ по этим же факторам также одни из наиболее высоких. В тоже время % числа несчастных случаев от количества нарушений для ШУ «Белозерское» по всем факторам одно из наименьших.

Одни из наиболее низких значений коэффициента частоты нарушений в целом и по каждому из факторов у ШУ «Першотравенское». В тоже время для данного ШУ значения числа нарушений и % числа несчастных случаев от количества нарушений одни из самых высоких по всем факторам.

Для ШУ «Павлоградское» наибольшее значение коэффициента частоты нарушений по фактору «шахтный транспорт», а одно из наименьших по фактору «машины и механизмы», в то время как % числа несчастных случаев от количества нарушений для данного ШУ по фактору «машины и механизмы» в несколько раз выше для всех остальных предприятий и ББУ в целом.

В целом по ББУ наибольший коэффициент частоты нарушений наблюдается по факторам «машины и механизмы», «конвейерный транспорт», «шахтный транспорт», наименьший – по факторам «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность», что также характерно и для числа нарушений. % числа несчастных случаев от количества нарушений в целом и по фактору «шахтный транспорт» выше, чем по факторам «машины и механизмы» и «конвейерный транспорт».

Выводы и направление дальнейших исследований. При наличии тенденций в преобладании нарушений по тем или иным факторам в целом для ББУ, для каждого конкретного ШУ нельзя сказать об устойчивых тенденциях изменения как коэффициента числа нарушений, числа нарушений, так и % числа несчастных случаев от количества нарушений. Также нельзя говорить о наличии устойчивой связи между числом нарушений и числом случаев травматизма для каждого конкретного ШУ. Направление дальнейших исследований должно предполагать непрерывное совершенствование процедур и методик системы управления охраной труда в первую очередь в направлении поиска и выявления причин аварий и травматизма в условиях каждого конкретного ШУ.

Список литературы

1. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Системи управління якістю.
2. ДСТУ ОHSAS 18001:2010 Системи управління гігієною та безпекою праці. *Вимоги*.
3. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use.
4. Шевченко В.Г., Носаль Д.А. Процедура идентификации опасностей и оценки рисков в области охраны труда // Геотехнічна механіка. 2018. Вип. 141. С. 190-203. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.190>.
5. Носаль Д.А., Шевченко В.Г. Процедура классификации, анализа и реагирования на опасные действия // Геотехнічна механіка. 2018. Вип. 143. С. 143-152. <https://doi.org/10.15407/geotm2018.143.143>.
6. Носаль Д.А., Шевченко В.Г. Методика оценки руководителей угольной шахты в области охраны труда // Геотехнічна механіка. 2019. Вип. 149. С. 77-88. <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.077>.
7. Парханьски Ю. Риск травматизма рабочих угольных шахт и его гистерезис // Записки горного института. 2016. Т. 222. С. 869-876. DOI 10.18454/PMI.2016.6.869.
8. Практическое использование методики количественной оценки рисков травматизма «Вероятность-Вред-Риск» (ВВР) на примере АО «СУЭК-Кузбасс» / В.В. Лисовский, Ю.М. Иванов, А.С. Ворошилов, Г.Е. Седелников, Х.У. Ли. Уголь. 2018, № 12. С. 41-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-12-41-46>.
9. Apurna Kumar Ghosh, Ashis Bhattacharjee. Predictors of occupational injuries among coal miners: Causal analysis / *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*. 2007. 116(1). Pp. 16-24. DOI:10.1179/174328607X161879.
10. Satar Mahdevari, Kourosch Shahriar, Akbar Esfahanipour. Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS / *Science of The Total Environment*. 2014. Vol. 488-489C(1). Pp. 85-99. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.076>.
11. Analysis of the factors influencing the level of professional health and the biological age of miners during underground mining of coal seams / S. Cheberiyachko, Yu. Cheberiyachko, V. Sotskov, O. Tytov // *Mining of Mineral Deposits*. 2018. 12(3). Pp. 87-96. <https://doi.org/10.15407/mining12.03.087>.
12. Evaluating Targeted Intervention on Coal Miners' Unsafe Behavior / Ruipeng Tong, Yanwei Zhang, Yunyun Yang, Qingli Jia, Xiaofei Ma, Guohua Shao // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019. Vol. 16. Pp. 422; [doi:10.3390/ijerph16030422](https://doi.org/10.3390/ijerph16030422).
13. Analysis and evaluation of risks in underground mining using the decision matrix risk-assessment (DMRA) technique, in Guanajuato, Mexico / Claudia Rivera Domínguez, Ignacio Villanueva Martínez, Paloma María Piñón Peñaa, Adolfo Rodríguez Ochoab // *Journal of Sustainable Mining*. 2019. Vol. 18. Pp. 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.01.001>.

14. Mancini L., Sala S. Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks / Resources Policy. 2018. Vol. 57. Pp. 98-111. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.002>.
15. Amirshenava S., Osanloo M. Mine closure risk management: An integration of 3D risk model and MCDM techniques / Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 184. Pp. 389-401. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.186>.
16. Geotechnical Risk Management Concept for Intelligent Deep Mines / R.K. Mishra, M. Janiszewski, L.K.T. Uotinen, M. Szydłowska, T. Siren, M. Rinne // Procedia Engineering. 2017. Vol. 191. Pp. 361-368. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.192>.
17. Towards sustainability in underground coal mine closure contexts: A methodology proposal for environmental risk management / A. Krzemiń, A.S. Sánchez, P.R. Fernández, K. Zimmermann, F.G. Coto // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 139. Pp. 1044-1056. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.149>.
18. Examining psychosocial and physical hazards in the Ghanaian mining industry and their implications for employees' safety experience / K. Amponsah-Tawiah, A. Jain, S. Leka, D. Hollis, T. Cox // Journal of Safety Research. 2013. Vol. 45. Pp. 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2013.01.003>.
19. Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey / M. Sari, A.S. Selcuk, C. Karpuz, H.S.B. Duzgun // Safety Science. 2009. Vol. 47(1). Pp. 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.12.004>.
20. Duzgun H.S.B., Einstein H.H. Assessment and management of roof fall risks in underground coal mines / Safety Science. 2004. Vol. 42(1). Pp. 23-41. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(02\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(02)00067-X).

Рукопись постуила в редакцию 06.10.2020

УДК 621.929.6:622.781

В. Й. ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.,
 Д. В. ПОПОЛОВ, І. В. ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти
 Технологічний навчально-науковий інститут
 Державного університету економіки та технологій
 М. І. ШЕПЕЛЕНКО, асп., Криворізький національний університет

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ВИТРАТ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ «РОТОРНИЙ ЗМІШУВАЧ-КОНВЕЄР»

Мета. Сучасні технологічні схеми металургійного виробництва передбачають підготовку шихтових матеріалів до спікання та випалу де важливою складовою є процес змішування, для якого може бути застосований роторний змішувач безперервної горизонтально-направленої дії. Мета роботи полягає в проведенні детального аналізу конструктивних робочих вузлів роторного змішувача безперервної горизонтально-направленої дії та сформувані алгоритм розрахунку енергосилових витрат, які були затрачені на формування гомогенної шихтової суміші з урахуванням вібраційного впливу на конвеєрну стрічку, яка подає матеріал на змішування.

Методи. Методика досліджень в даній науковій праці включає аналітичне дослідження яке виконувалось на основі представлення динаміки руху матеріальної точки і твердих тіл, що рухаються в вібраційній горизонтальній площині та обертаються навколо нерухомої осі з застосуванням математичного моделювання.

Наукова новизна. Вперше для технічної системи «роторний змішувач-конвеєр» отримані залежності, що пов'язують кінематичні, конструктивні параметри роторного змішувача та вібраційні коливання конвеєрної стрічки, які впливають на енергетичні витрати по змішуванню матеріалу. Також розроблена загальна методика розрахунку енергосилових витрат робочого органу змішувача. З аналізу встановлено, що застосування гнучкого тросового елемента в конструктиві роторного змішувача з додаванням вібраційного впливу на конвеєрну стрічку значно зменшить супротив другого по ходу матеріалу ротора та підвищить якість отриманої суміші.

Практична значимість. В статті наведено конструктивний вузол системи роторний змішувач безперервної горизонтально-направленої дії та стрічковий конвеєр, також запропонована методика розрахунку її енергосилових витрат. Встановлений зв'язок між кінематичними та конструктивними елементами робочого органу змішувача, висотою шару транспортуючого матеріалу та коливаннями конвеєрної стрічки, які впливають на енерговитрати при підготовці суміші.

Результати. В результаті розробки методики розрахунку визначено основні енергозатратні вузли змішувача; наведена методика розрахунку витраченої енергії при взаємодії робочих органів змішувача з шихтовим матеріалом.

Ключові слова: змішувач, матеріал, лопатка, технічний об'єкт, робочий орган, ротор, розрахунок, змішувач, технічна система, конвеєр.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-24-29

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Вдосконалення змішувачів, як базисного устаткування для підготовки компонентів шихти, є перспективним шля-

хом в питаннях підвищення ефективності агломераційного та коксохімічного виробництва. Саме операція змішування являється базисною, адже за нею тягнеться подальший технологічний цикл, для якого є характерним використання складного устаткування. Таке устаткування схильне до постійного зносу внаслідок безперервного тертя при транспортуванні шихтової суміші.

З загальної характеристики змішувачами називаються машини або апарати, призначені для здійснення процесу змішування матеріалів.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз найбільш поширених класичних та сучасних концептуальних робіт [1-4] показав, що теоретичним підґрунтям створення та розвитку змішувальної техніки для компонентів вугільної шихти є використання устаткування з одночасною функцією розпушення та змішування компонентів змішувальної суміші.

Для подальшого дослідження серед різноманіття конструкцій змішувальної техніки було обрано роторний змішувач. Це обумовлено рядом переваг: змішувач встановлюється безпосередньо над стрічкою конвеєра; відсутність значних динамічних навантажень; можливе впровадження в умовах діючих конвеєрних ліній без істотних капітальних витрат; змішування концентратів, вугілля та іншої сировини, яка має здатність змерзатися при вантажних перевезеннях, з присадками, які запобігають змерзання; зниження вологості на конвеєрі (при послідовному завантаженні сухих та вологих компонентів); підсушування на конвеєрі (при послідовному завантаженні холодних та гарячих компонентів) [5, 7].

Постановка завдання. Як згадувалось вище, відомий змішувач роторного типу, горизонтально-направленої дії з еластичним тросовим елементом [5], не має чіткого математичного опису процесу змішування з додаванням вібраційного впливу. Відповідно до цього твердження необхідність проведення додаткових досліджень та визначення раціональних параметрів устаткування для змішування сировини, є зваженим та аргументованим.

Викладення матеріалу та результати. Розглянемо детальніше конструкцію секції роторного змішувача, яка є першою по ходу постачання матеріалу і впливає на енергосилові параметри змішувача.

Секція змішувача (рис.1) складається з трьох паралельно закріплених валів 1, на крайніх валах розміщено два типи роторів, а саме тросовий (з гнучким елементом) 2 та лопатевий 3. Середній вал розміщений на нижньому ярусі рами секції та призначається для приводу вібруючого ролика 4. Тросовий ротор 2 є ведучим, обертання якому передається від електричного двигуна 5 через клинопасову передачу 6 і шків 7. З іншої сторони секції, на кінцях роторів розмішені три шківки 8, які пов'язані між собою клинопасовою передачею 9, передаючи обертання лопатевому ротору 3 та вібруючому ролику 4, при цьому ротори обертаються один відносно одного в одному напрямі. На роторах 2 та 3 перпендикулярно валам розміщені троси та лопаті відповідно. Конструктивна схема робочих вузлів секції роторного змішувача показана на рис.2.

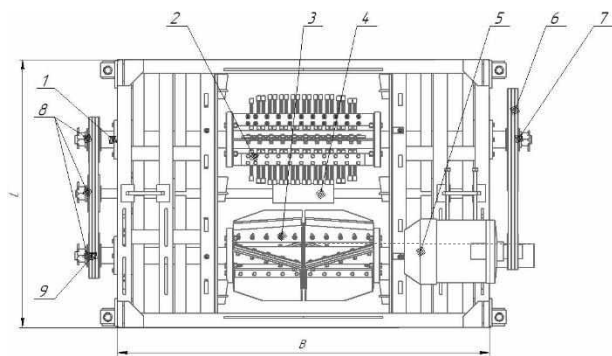


Рис. 1 Конструктивна схема секції роторного змішувача [5]

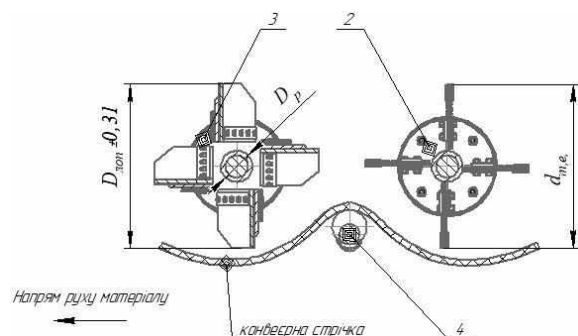


Рис. 2 Конструктивна схема робочих елементів змішувача

З конструктивних особливостей роторного змішувача, приведених на рис.2, видно, що перший ротор з тросовими елементами виконує функцію розпушувача шару приводячи матеріал у суспендований стан, а другий лопатевий здійснює його переміщення та екскавацію. При цьому вібруючий ролик 4 утворює додаткові коливання конвеєрної стрічки, що позитивно впливає на

якість готової суміші. Робота в тандемі таких роторів та ролику дозволяє отримати гомогенну шихтову суміш з меншими енергетичними витратами.

Сумарна потужність приводу складається з потужності однієї секції змішувача (рис.1) та вібруючого ролику 4, який наведено на конструктивній схемі рис.2

$$N = N^I + N^{II}, \quad (1)$$

де N^I – сумарна потужність тросового та лопатевого роторів, кВт; N^{II} – загальна потужність витрачена на подолання сил тертя в опорах валу N_{mp} , з супутнім підкиданням матеріалу N_m ;

$$N^I = \frac{k_n(M_I + M_{II}) \cdot \omega_p}{9,55 \cdot \eta_{заг}}, \quad (2)$$

де k_n – коефіцієнт запасу встановленої потужності механізму приводу з урахуванням додаткових опорів, ($k_n = 1,2 \dots 1,5$); $\eta_{заг}$ – загальний коефіцієнт корисної дії приводу механізму; ω_p – кутова швидкість обертання ротора, c^{-1} ; M_I – крутний момент на валу з тросовими елементами, Н·м; M_{II} – крутний момент на валу лопатевого ротора, Н·м.

Крутний момент M_I на валу I-го ротора (з тросовими елементами), який виконує функцію розпушувача, можна визначити за формулою, Н·м

$$M_I = i \cdot G_{роз} \cdot V_p^{mam} \cdot f_{сд} + m_{ром}^I \cdot g \cdot \frac{D_p}{2} \cdot \mu, \quad (3)$$

де i – кількість розпушувачів (тросових елементів) в прошарку матеріалу, шт; $G_{роз}$ – розподілене навантаження на один розпушувач, Н/м²; V_p^{mam} – об'єм розпушеного матеріалу, м³; $f_{сд}$ – коефіцієнт внутрішнього зсуву матеріалу, який для сипких матеріалів прирівнюється до коефіцієнта внутрішнього тертя матеріалу $f_{вн}$; $m_{ром}^I$ – власна маса ротору з тросовими елементами, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с²; D_p – діаметр ротора, мм; μ – коефіцієнт тертя в підшипниках опори ротора.

Розрахункова епора по визначенню навантаження $G_{роз}(x)$, яке діє на один розпушувач, представлена на рис.3, з якого видно, що навантаження $G_{роз}(x)$ розподіляться по закону трапеції [8] від точки B до точки C та відповідно дорівнює

$$G_{роз}(x) = G_B + K(x - a), \quad (4)$$

де K – тангенс кута нахилу кута β дотичної до епюри навантаження

$$K = tg\beta = \frac{G_B - G_C}{l - a} = \frac{G_B - G_C}{b}. \quad (5)$$

В нашому випадку навантаження в точці B буде характеризуватись максимальною висотою шару матеріалу H на конвеєрній стрічці, котрий не перевищує величину в 0,2 м, а кут β – визначається кутом природнього відкосу змішувального матеріалу, який не перевищує для більшості металургійних шихтових матеріалів 30-35°. В такому випадку величина K складе від 0,09÷0,18, тобто зневажливо замала в порівнянні з одиницею.

Тому доцільним є розгляд розрахункової схеми з рівномірно розподільним навантаженням на ділянці довжиною b , представлену на рис. 4.

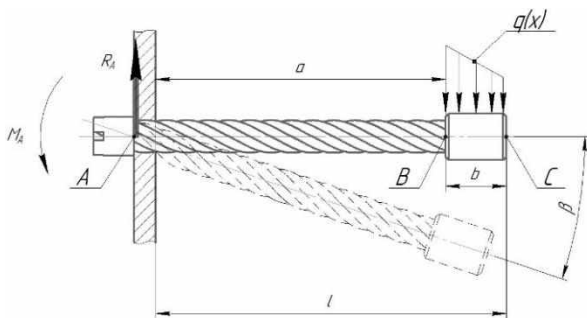


Рис. 3 Епюра навантаження, яке діє на один розпушувач

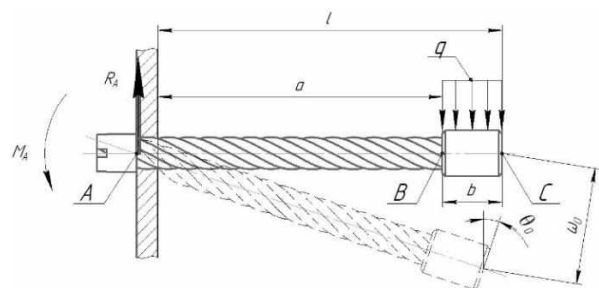


Рис. 4. Епюра рівномірного навантаження, яке діє на один розпушувач

Рівняння пружної лінії записується в наступному вигляді

$$\omega(x) = \omega_0 + \theta_0 \cdot x + \frac{1}{EJ} \cdot \left[M_0 \frac{x^2}{2!} + R_A \frac{x^3}{3!} - \frac{g(x-a)^4}{4!} \right]. \quad (6)$$

З умови рівноваги балки визначаємо статичні початкові параметри

$$M_0 = M_A = -G_{роз} \cdot (l-a) \cdot \left(\frac{l-a}{2} \right) = -G_{роз} \cdot \frac{(l-a)^2}{2}, \quad (7)$$

$$R_A = G_{роз} \cdot (l-a). \quad (8)$$

Так як початок координат співпадає з закладанням, то прогин та кут в початку координат буде дорівнювати нулю $\omega_0 = 0$, $\theta_0 = 0$.

Підставивши в рівняння (6) початкові параметри отримаємо рівняння пружної лінії в остаточному вигляді

$$\omega(c) = \frac{1}{EJ} \cdot \left[\frac{G_{роз} \cdot (l-a)^2 \cdot x^2}{2!} + \frac{G_{роз} \cdot (l-a)^3 \cdot x^3}{3!} - \frac{G_{роз}(x-a)^4}{4!} \right]. \quad (9)$$

При $x = l$, прогин в точці С буде дорівнювати

$$\omega(c) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{G_{роз} \cdot (l-a)^4}{24} = \frac{G_{роз} H^4}{EJ \cdot 24}. \quad (10)$$

Обмежено прогин $\omega(c) = 2\text{мм}$, тоді

$$G_{роз} H^4 = 48EJ, \quad (11)$$

звідки

$$G_{роз} = \frac{48 \cdot EJ}{H^4}. \quad (12)$$

Об'єм розрихленого матеріалу V_p^{mat} з достатньою ступеню точності можна визначити виходячи з розрахункової схеми [9] представленій на рис. 5.

Рис. 5 Розрахункова схема для визначення об'єму розрихленого матеріалу

Площа першої фігури Obc визначається за формулою

$$S_1 = \frac{\pi \cdot Oc^2 \cdot \alpha}{360} = 0,785 \cdot \left(R_p - \frac{H}{0,7} \right)^2, \quad (13)$$

де $\frac{H}{Ab} = \cos 45^\circ$, або $Ab = \frac{H}{0,7}$. (14)

Площа другої фігури OAE визначається за формулою

$$S_2 = \frac{\pi \cdot R_p^2 \cdot \alpha}{360} = 0,785 \cdot R_p^2, \quad (15)$$

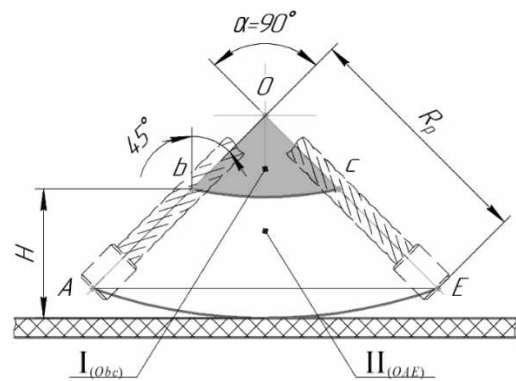
тоді
$$V_p^{mat} = (S_2 - S_1) \cdot B_k = 0,785 \cdot \left[R_p^2 - \left(R_p - \frac{H}{0,7} \right)^2 \right] \cdot B_k. \quad (16)$$

де B_k – ширина конвеєрної стрічки, м; R_p – радіус ротора з тросовими елементами, мм.

Тоді крутний момент M_I в своєму кінцевому вигляді буде дорівнювати

$$M_I = 0,785 \cdot i \cdot \frac{(l-a)}{R_A} \cdot \left[R_p^2 - \left(R_p - \frac{H}{0,7} \right)^2 \right] \cdot B_k \cdot f_{cd} + m_{ром}^I \cdot g \cdot \frac{D_p}{2} \cdot \mu. \quad (17)$$

Крутний момент M_{II} валу ротора 3 (рис.2), який виконує функцію розпушення і екскавацію матеріалу можна визначити за формулою



$$M_{II} = m_m V \cdot \omega_p \cdot L + m_{ром}^{II} \cdot g \cdot \frac{D_{лон}}{2} \cdot \mu, \quad (18)$$

де $m_m V$ – імпульс сили від руху матеріалу по конвеєрній стрічці, яка його транспортує; m_m – маса кускової частини матеріалу, кг; V – швидкість конвеєрної стрічки, м/с; ω_p – кутова швидкість обертання лопатевого ротора; L_m – шлях транспортування матеріалу, який можна прийняти рівним довжині дуги ротора

$$L_m = \frac{\pi \cdot r_l \cdot \alpha}{180}, \quad \text{або при } \alpha = 90^\circ: L = \frac{\pi \cdot r_l}{2}, \quad (19)$$

де α – кут поміж встановленими роторами; r_l – радіус лопатевого ротора, мм; $m_{ром}^{II}$ – маса лопатевого ротора, кг; $D_{лон}$ – діаметр лопатевого ротора, (поз.3, рис.2), мм.

Припустимо, що кожна лопатка ротора 3 (рис. 2) протягом одного оберту валу змішує деяку середню кількість матеріалу [10], то маса кускової частини яка підлягає змішуванню може бути визначена як

$$m_m = \frac{Q \cdot \gamma}{3600 \cdot \omega_p \cdot n_l}. \quad (20)$$

Співставивши (20) та (18), отримуємо

$$M_{II} = \frac{Q \cdot \gamma \cdot V \cdot \pi \cdot r_l}{3600 \cdot n_l \cdot 2} + m_{ром}^{II} \cdot g \cdot \frac{D_{лон}}{2} \cdot \mu, \quad (21)$$

де γ – питома вага матеріалу, Н/м³; n_l – кількість лопаток на роторі, шт; Q – продуктивність конвеєра, м³/год;

$$Q = 3600 \cdot B_k \cdot H \cdot V. \quad (22)$$

Тоді після перетворень та з урахуванням (22) формула (21) в остаточному набуде наступного вигляду

$$M_{II} = 1,57 \cdot \frac{\gamma \cdot V^2 \cdot B_k \cdot H \cdot r_l}{n_l} + m_{ром}^{II} \cdot g \cdot \frac{D_{лон}}{2} \cdot \mu. \quad (23)$$

При цьому відповідно буде дорівнювати

$$N^{II} = k_n \frac{N_{mp} + N_m}{\eta_{заг}}. \quad (24)$$

Потужність, витрачена на подолання сил тертя в підшипникових опорах ролика 4 (рис. 2) [6]

$$N_{mp} = m_p \cdot e \cdot \omega_k^3 \cdot \mu \cdot \frac{d_e}{2}, \quad (25)$$

де m_p – маса ролику, кг; e – ексцентриситет, м; ω_k – кутова швидкість ролика, $\omega_k = V/R_p$, рад/с; R_p – радіус ролика, м; d_e – діаметр цапфи валу, м.

Тоді потужність, витрачена на підкидання матеріалу

$$N_m = E_k \cdot \omega_k, \quad (26)$$

де E_k – кінетична енергія зворотно-поступальних рухомих мас матеріалу за один оберт валу, та визначається як

$$E_k = m_m \cdot A^2 \cdot \omega_k^2, \quad (27)$$

тоді

$$N_m = m_m \cdot A^2 \cdot \omega_k^3, \quad (28)$$

де m_m – маса матеріалу, кг; A – амплітуда коливань; ω_k – частота вимушених коливань.

Таким чином отримані залежності дозволяють розрахувати потужність роторного змішувача безперервної дії з вібруючими роликами встановленого над стрічкою конвеєра та окрім цього проаналізовані параметри які істотно впливають на енергозатрати при змішуванні металургійної сировини.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Результати отриманих досліджень можуть бути використанні при розробці технічної системи роторний змішувач безперервної горизонтально-направленої дії – стрічковий конвеєр з метою підвищення якості підготовки металу-

ргійних шихтових матеріалів. Результати отриманих досліджень можуть бути використані для подальших досліджень у сфері підвищення ефективності металургійного виробництва.

Список літератури

1. **Иванец В.Н.** Новые конструкции смесителей для многокомпонентных композиций / **В.Н. Иванец** // Химическое и нефтяное машиностроение - 1992. - № 1. - С. 20-22.
2. **Засельский В.И.** Конструкции смесителей и оценка эффективности их работы при подготовке металлургического сырья / **В.И. Засельский, Ю.И. Вититнев, С.А. Учитель** // Теория и практика металлургии. - 2011. - № 3-4. - С. 40-45.
3. Rotary batch mixers [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Електронні дані. – Utica, NY 13502 – Режим доступу: www.munsonmachinery.com (дата звернення 10.10.2019) – Назва з екрана.
4. PlowBlend [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Електронні дані. – Illinois 60031 – Режим доступу: www.eirichusa.com (дата звернення 11.10.2019) – Назва з екрана.
5. Роторний змішувач з гнучким тросовим ротором.: пат. 47571. Україна: МПК В01F 13/00. № u200909165; заявл. 07.09.2009; надрук. 10.02.2010, Бюл.№ 3 URL: <http://uapatents.com/4-47571-rotornijj-zmishuvach-z-gnuchkim-trosovim-rotorom.html>
6. **Большаков В.И.** Расчет металлургических машин. Оборудование обжиговых и агломерационных цехов / **В. И. Большаков, А.Д. Учитель, В.И. Засельский, Д.В. Пополов, С.А. Учитель, В. В. Коноваленко.** – Кривой Рог. – 2012. – 336 с.
7. **Учитель А.Д.** Determination of technological and power parameters of mixer-homogenizer / **A.D. Uchitel, D.V. Popolov, I. V. Zasliski** // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – № 1. – P. 158-162.
8. **Яблонский А.А.** Курс теоретической механики – учебник [для студ. ВУЗов] / **А. А. Яблонский, В. М. Никифорова.** М. : Лань, 2002. – 764 с.
9. **Мархель І. І.** Деталі машин – навч. посібник / **І. І. Мархель.** – Київ : Алер-та, 2005. – 368 с.
10. **Селиванов Ю.Т.** Расчет и проектирование циркуляционных смесителей сыпучих материалов без внутренних перемешивающих устройств/ **Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин.** М. : «Издательство Машино-строение-1», 2004. – 120 с. Рукопис подано до редакції 09.10.2020

УДК 629.113

В.И. ПАХОМОВ, канд. техн. наук, доц., **И.В. ГИРИН**, ст. преподаватель
Криворожский национальный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

Цель. Основной целью работы является обеспечение эксплуатационной надежности подвижного состава автотранспортных предприятий за счет повышения эффективности процессов текущего ремонта с использованием разработанной системы моделирования условий обслуживания при нестационарном потоке автомобилей и минимизации на ее основе суммы затрат на содержание зоны ТР и потерь от простоев автомобилей в ожидании.

Методы исследования. В работе выполнены анализ и обобщение опубликованных теоретических разработок, аналитические расчеты, статистический анализ, экономико-математическое моделирование, программно-целевой метод. Методология теоретических исследований основана на применении логических и математических методов. Также применяется ряд частных методов: аксиоматический и гипотетический методы, анализ и синтез, метод интерпретации, корреляционно-регрессионный анализ, имитационное моделирование.

Научная новизна. Научную ценность представляет предложенная на основе моделирования методика оптимизации организации постовых работ текущего ремонта автомобилей в автотранспортном предприятии, которая позволяет проектировать и реконструировать систему текущего ремонта с использованием оптимального количества постов.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики корректирования расчетного числа постов ТР с учетом неравномерности поступления автомобилей, позволяющей: - минимизировать сумму затрат от простоя автомобилей в зоне ТР и затрат от простоя постов ТР: - обоснованно распределять нагрузку на подвижный состав в АТП с учетом заданных условий эксплуатации и определять приоритеты при постановке машин на ремонтные работы.

Результаты:

разработанные математическая модель и методика оптимизации объемов ТР позволяют выполнять функциональный анализ закономерностей, действующих при реализации процессов технического сервиса с использованием диагностической системы условий эксплуатации и изменения технического состояния подвижного состава;

предлагаемая расчетная методика позволяет реализовать принцип индивидуального подхода к оценке условий эксплуатации и изменения технического состояния подвижного состава и использовать выявленные ранее закономерности для повышения эффективности всей системы ТР в АТП

Ключевые слова: посты текущего ремонта, система массового обслуживания.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Существенную долю затрат в себестоимости автоперевозок составляют затраты на поддержание работоспособности подвижного состава. При работе автомобилей постоянно меняются интенсивность их использования и условия эксплуатации. Соответственно варьирует поток отказов автомобилей, который влияет на неравномерность загрузки постов текущего ремонта (ТР) и вызывает как простои автомобилей в одно время, так и простои постов в другой период. Существующие методы расчета числа постов ТР недостаточно учитывают неравномерность потока требований. Вариация потока связывается только с числом автомобилей, а число постов рассчитывается без учета затрат от их простоя. Следовательно, необходимо совершенствовать методику технологического расчета с учетом вышесказанного. Для того чтобы решить эту задачу необходимо знать закономерности формирования потока отказов автомобилей с учетом вариации основных влияющих факторов. Совершенствование организации системы текущего ремонта связано с большими затратами времени и ресурсов, поскольку требует построения различных организационных структур и схем. По этой причине реализация натурного эксперимента в условиях автотранспортного предприятия затруднительна. Поэтому оптимизацию различных организационных стратегий целесообразно выполнять с использованием различных методов моделирования.

Анализ исследований и публикаций. Существующие формы и методы организации текущего ремонта и технического обслуживания, используемые на автотранспортных предприятиях, не в полной мере соответствуют современным требованиям. В частности, развитие технического прогресса, вместе с этим ремонтно-обслуживающих объектов, выдвигает ряд проблем, связанных с рациональным использованием оборудования АТП, производственных ресурсов и безопасности труда

Учету условий эксплуатации при планировании ремонта и обслуживания автотранспорта посвящены работы Ю.А. Монастырского, Е.С. Кузнецова, Р.Х. Хасанова, Н.Я. Говорущенко, Г.М. Напольского, Л.Г. Резника, А.Г. Сергеева, В.А. Бондаренко, А.П. Болдина, Н.С. Захарова И.Н. Аринина, М.М. Болбас, А.П. Дунаева, Ф.Н. Авдонькина, И.Н. Аринина, Б.Д. Прудовского, В.П. Воронова, И.Б. Гурвич, И.Е. Дюмина, Б. С. Клейнера. Значительный вклад в разработку технологии ТР внесли В.Н. Хабардин, Ю.Ф. Бойко, В.А. Зеленин, С.П. Озорнин, А.М. Плаксин, Н.М. Хмелевой, Л.В. Сегал.

Однако анализ перечисленных работ показал, что до настоящего времени нет экономически обоснованных рекомендаций по методике расчета количества постов текущего ремонта, их рациональной специализации, типизации вариантов организации постовых работ, удовлетворяющих потребностям автотранспортных предприятий различной мощности и структуры.

Постановка задачи. Для повышения эффективности выполнения процессов текущего ремонта необходимо:

разработать научно-обоснованные методологические принципы и подходы к формированию системы текущего ремонта автомобилей в условиях принятия оперативных решений в АТП с изменяющейся численностью подвижного состава;

выявить факторы, влияющие на число постов зоны ТР в условиях неравномерности потока отказов;

установить закономерности возникновения и формирования потоков отказов автомобилей;

разработать методику, позволяющую обоснованно определять систему проведения ТР автомобилей с учетом специфики их эксплуатационных показателей,

разработать практические рекомендации для АТП, позволяющие сократить затраты в эксплуатации за счет оптимизации системы текущего ремонта.

Изложение материала и результаты. Расчеты производственной программы АТП дают возможность получить исходные данные для определения необходимого количества постов текущего ремонта и ремонтников, которые будут реализовывать эту программу. Для их определения обычно используют детерминированные методы. Однако, применение полученных этими методами результатов расчетов на практике ведет к большим потерям, которые несет АТП из-за того, что практически все процессы текущего ремонта имеют случайный характер. Потребность в текущем ремонте возникает в случайные моменты времени, которые преждевременно не планируются. Объемы работ текущего ремонта изменяются в очень широких пре-

делах – от замены одной до нескольких десятков деталей или агрегатов. Поэтому длительность выполнения текущего ремонта и пребывания автомобиля на посту текущего ремонта есть величина случайная.

Из-за случайного характера указанных величин в АТП могут появляться в одних случаях очереди автомобилей, которым требуется ремонт, а в других – могут быть простои постов текущего ремонта. Из-за этого снижается эффективность работы автомобилей или всей производственно-технической базы, на которой выполняется текущий ремонт. Полностью эти явления исключить нельзя. Однако, если количество постов текущего ремонта выбрано неправильно, негативные последствия очень ощутимы. С увеличением количества постов текущего ремонта проявляются две противоположные тенденции. С одной стороны, сокращаются простои автомобилей в ожидании ремонта, а с другой – уменьшается загрузка постов текущего ремонта и снижается эффективность работы зоны ТР.

Главная характеристика входящего потока - его основной параметр $\lambda(t)$ или интенсивность потока требований в системе. Параметр потока требований определяет среднее количество заявок на обслуживание, поступающих в единицу времени. Он связан со средним промежутком времени $\tau(t)$ между двумя очередными обслуживаниями в момент времени t следующим соотношением:

$$\lambda(t) = \frac{1}{\tau(t)}. \quad (1)$$

В стационарных потоках требований, режим которых постоянен во времени, $\lambda(t) = \lambda$, $\tau(t) = \tau$ и тогда

$$\lambda = \frac{1}{\tau}. \quad (2)$$

Другое основное понятие теории массового обслуживания - время обслуживания, величина, характеризующая затраты времени обслуживающими аппаратами, например постами текущего ремонта, на обслуживание поступившей заявки. В связи с тем, что по ряду причин время обслуживания не является детерминированным, а изменяется от одного требования к другому, время обслуживания рассматривается как величина случайная. При решении задач массового обслуживания важно знать, по какому закону распределяется случайное время обслуживания.

Главная характеристика времени обслуживания – интенсивность обслуживания μ или среднее число обслуживаний в единицу времени. Интенсивность обслуживания связана со средними затратами времени на одно обслуживание t_o следующей зависимостью

$$\mu = \frac{1}{t_o}. \quad (3)$$

Абсолютными значениями величин λ и μ обычно пользуются применительно к разомкнутым системам массового обслуживания. Для решения задач применительно к замкнутым системам обычно применяют удельные параметры: интенсивность заявок, исходящих не от всего источника требований, например парка автомобилей, а от одного обслуживаемого элемента, например автомобиля λ' , и интенсивность обслуживания одним аппаратом, например постом текущего ремонта μ' .

Для определения основных параметров замкнутой системы массового обслуживания при всех практически возможных значениях количества обслуживаемых элементов m , удобнее использовать следующие формулы

$$P_o = \left[\sum_{n=1}^l A_n \right]^{-1}; \quad (4)$$

$$\bar{v} = P_o \sum_{n=S+1}^l (n-S) A_n; \quad (5)$$

$$\bar{\rho} = P_o \sum_{n=0}^{S-1} (S-n) A_n, \quad (6)$$

где $A_n = A_{n-1} \cdot K$; $K = \{(m-n+1) \cdot \psi; n < S\}$; $A_o = 1$; $K = \{(m-n+1) \cdot \psi; S; n > S\}$; l – минимальное значение n , при котором $A_n < 0,00001$; n – номер состояния системы массового обслуживания

(количество требований в системе – в накопителе и в узле обслуживания); m – количество обслуживаемых элементов в источнике требований; S – число обслуживающих аппаратов; $\psi = \lambda' / \mu'$ – загрузка системы массового обслуживания; λ' – интенсивность заявок, которые поступают от одного обслуживаемого элемента; μ' – интенсивность обслуживания одним обслуживающим аппаратом; P_0 – вероятность того, что все обслуживающие аппараты узла обслуживания свободны; v – средняя длина очереди в накопителе; ρ – среднее количество свободных обслуживающих аппаратов (постов ТР).

Коэффициент загрузки системы $\psi = \lambda' / \mu'$ для условий АТП можно рассчитать по формуле

$$\psi = \frac{L_p \cdot t_T}{1000 \cdot A_{cn} \cdot D_p \cdot n_{зм} \cdot t_{зм} \cdot n_{роб} \cdot \eta_{рч}}, \quad (7)$$

где L_p – годовой пробег всех автомобилей в АТП; t_T – средневзвешенная нормативная трудоёмкость конкретного вида работ ТР в чел.-час. (универсальных – разборочно-сборочных работ; специализированных – замена двигателя, мостов и т.п.); A_{cn} – количество по списку подвижного состава АТП; D_p – количество рабочих дней постов ТР; $n_{зм}$ – количество смен работы постов ТР; $t_{зм}$ – продолжительность смены работы постов ТР в часах; $n_{роб}$ – среднее количество работников на одном посту ТР; $\eta_{рч}$ – коэффициент использования рабочего времени поста.

$$L_p = \sum_{i=1}^k L_{pi}, \quad (8)$$

где L_{pi} – годовой пробег всех АТС i -ой модели; k – количество моделей автомобилей в АТП.

$$L_{pi} = \frac{A_{cni} \cdot D_{pi}}{\frac{1}{l_{oi}} + \frac{d_{ki}}{l_{ki}} + \frac{d_{TOi}}{1000}}, \quad (9)$$

где A_{cni} – списочный состав автомобилей АТП i -ой модели; D_{pi} – количество дней работы на линии i -ой модели АТС в АТП; l_{oi} – средний суточный пробег i -ой модели АТС; d_{ki} – количество дней простоя АТС i -ой модели в капитальном ремонте; l_{ki} – пробег i -ой модели АТС до капитального ремонта, км; d_{TOi} – простои в ТО и ТР автомобилей i -ой модели, дни/1000 км пробега

$$t_T = \frac{\sum_{i=1}^k t_{Ti} \cdot A_{cni}}{A_{cn}}, \quad (10)$$

где t_{Ti} – скорректированный норматив трудоёмкости конкретного вида работ ТР i -ой модели АТС в чел.-час. (для универсальных постов – скорректированный норматив трудоёмкости разборочно-сборочных работ; для специализированных – скорректированный норматив трудоёмкости замены двигателя, мостов и т.п.).

Для решения задания оптимизации необходимо задавать количество обслуживающих аппаратов S , начиная с минимального значения, необходимого для выполнения производственной программы. Если значение S будет меньше, чем минимально необходимая величина, то коэффициент загрузки системы будет больше единицы и система не будет справляться с производственной программой, т.е. – очередь непрерывно увеличивается, приближаясь к значениям $m \cdot S$.

Для каждого заданного значения S необходимо рассчитать среднюю длину очереди АТС в ожидании ТР – v и среднее количество свободных обслуживающих аппаратов (постов ТР) – ρ .

Критерий оптимальности для каждого заданного значения количества постов определяется по формуле

$$U = C_1 \cdot \bar{v} + C_2 \cdot \bar{\rho}, \quad (11)$$

где C_1 – потери, которые несет АТП от простоев АТС в ожидании ремонта за смену; C_2 – потери, которые несет АТП от простоев одного поста ТР за смену.

Потери от простоев АТС в ожидании ремонта могут складываться из ряда показателей. Рекомендуется учитывать потери, которые обусловлены невыполненной транспортной работой и заработной платой водителя, которую он получает за невыполненную транспортную работу.

Потери от простоев постов, которые не заняты работой, также могут складываться из ряда показателей. Сюда относятся: приведенные затраты на строительство и на оснащение поста;

плата за помещение, в котором размещен пост, отопление, освещение, вентиляция, плата за землю; амортизационные отчисления на обновление оборудования поста, приведенные к одной смене; заработная плата слесарей за невыполненную работу при вынужденном простое за смену.

Для расчета минимально необходимого количества постов текущего ремонта, расчета показателей системы массового обслуживания, моделирования пробегов автомобилей, моментов возникновения потребности в текущем ремонте, трудоёмкости текущего ремонта и продолжительности его выполнения используют программу ZSMO.EXE (zsmo.bas).

Выводы и направление дальнейших исследований. С использованием разработанной методики моделирования программа рассчитывает коэффициент загрузки системы массового обслуживания и определяет минимально необходимое количество постов текущего ремонта. Программа определяет среднюю длину очереди автомобилей, которые ожидают ремонта, и среднее количество свободных постов для разных вариантов их количества, начиная с определения минимально необходимого количества. Программа рассчитывает потери от простоев автомобилей, от простоев постов и суммарные потери. Результаты расчетов оформляются в таблице и графической зависимостью $U=f(S)$ (рис. 1).

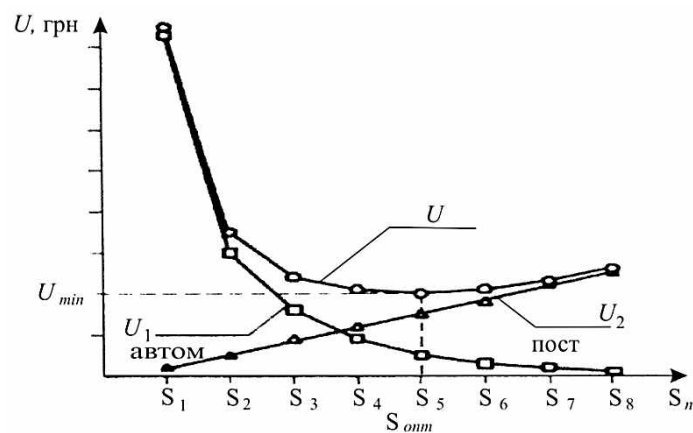


Рис. 1. Зависимость суммарных потерь от количества постов (определение оптимального количества постов $S_{\text{опт}}$)

Все это в совокупности дает возможность определять оптимальные трудозатраты на ТР, позволяющие повысить эксплуатационную надежность автомобилей.

Список литературы

1. **Верхорубов В.В.** Статистическое исследование закономерностей простоя автобусов в ремонте / **В. В. Верхорубов** // Вузовская наука – региону: Материалы пятой всероссийской научно-технической конференции. В 2-х т. – Вологда: ВоГТУ, 2007. – Т.1. – С. 16-19.
2. **Бердников И.Е.** Особенности организации процесса мониторинга технического состояния технологических и транспортных машин / **И.Е. Бердников, С.П. Озорнин** // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: XIV Международная научно-практическая конференция: сб. ст. [в 3ч.] Часть III/ Забайкал. гос. ун-т. –Чита, 2014. –317 с. С 125-131.
3. **Булгаков Н.Ф.** Управление качеством профилактики АТС. Моделирование и оптимизация / **Н.Ф. Булгаков, Ц.Ц. Бурхив.**// –Красноярск : КГТУ, 2002. –164 с.
4. **Ершов Д. Ю.** Техническое диагностирование и методы контроля механических узлов в машиностроении / **Д. Ю. Ершов** // Молодой ученый. –2013. –№4. –С. 62-64.
5. **Зорин В.А.** Основы работоспособности технических систем : Учебник / **В.А. Зорин.**// –М. : Магистр-Пресс, 2005. –536 с.
6. **Кравченко В.А.** Обслуживание и ремонт автотранспортных средств / **В.А. Кравченко, Р.И. Бутков.**// –Зерноград : Азово-Черномор. инжен. ин-т, 2015. –339 с.
7. **Кузнецов Е.С.** Управление техническими системами Учеб. пособие / **Е.С. Кузнецов.**//–М.: МАДИ (ГТУ), 2003. –247 с.
8. **Кутузов В.В.** Повышение эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом изменения их технического состояния : дис. кандидата технич. наук / **В.В. Кутузов.**// –Могилев, 2012. –225 с.
9. **Макарова А.Н.** Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей: дис. канд. техн. наук / **А.Н. Макарова.**// –Тюмень, 2015. – 208 с
10. **Озорнин С.П.** Основы работоспособности технических систем: Учеб. пособие / **С.П. Озорнин.**// –Чита : ЗабГУ, 2012. –133 с.

11. **Захаров Н.С.** Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей / **Захаров Н.С.** // Известия вузов. Нефть и газ. 1999. - №3. - С. 105-111.
12. **Чебоксаров А. Н.** Совершенствование технических средств диагностирования двигателей силовых установок и гидроагрегатов дорожно-строительных машин : Дис. канд. техн. наук :от 05.05.04 / **А.Н. Чебоксаров.** // – Омск, 2011. –173 с.
13. **Ящура А.И.** Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования : Справочник / **А.И. Ящура.** // –М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. –360 с.
14. **Latino M.A.** BehavioralBasedReliability [Электронный ресурс] / **M.A. Latino**// 2000 MachineryReliabilityConference. –Электронные текстовые данные. –2000. –April. –Режим доступа: <http://reliability.com/industry/articles/article36.pdf>
15. **Бусыгин, Е.Н.** Использование сетевых графиков при планировании, подготовке и организации проведения ремонтов / **Е.Н. Бусыгин, А.В. Напольских, А.Л. Блеч, А.Н. Рыбаков, Ю.Ю. Ушаков**// Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник докладов X междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека»/УГГУ.–Екатеринбург, 2012.–С. 358-362.
16. **Андреева Л. И.** Оценка факторов, влияющих на эксплуатационные показатели карьерного автотранспорта /**Л. И. Андреева, Ю.Ю. Ушаков**// Мир дорог. Спецвыпуск. –2016.–С. 62-64.
17. **Пухов Е.В.** Анализ образования потоков вторичных ресурсов на протяжении жизненного цикла автомобиля / **Е.В. Пухов, А.Л. Тоцкий, В.К. Астанин, А.А. Измайлов** // Вестник Воронежского ГАУ, 2011. Вып. 4 (31). – С. 59 – 63.
18. **Озорнин С.П.** Технический сервис мобильных машин: Стратегия ситуационно-комбинированного обслуживания : монография / **С.П. Озорнин.** //– Чита: ЧитГУ, 2004. – 250 с.
19. **Озорнин С.П.** Совершенствование организации мониторинга изменений технического состояния машин в эксплуатации : сб. научн. тр. / **С.П. Озорнин, И.Е. Бердников** // Вестник ЗабГУ – Чита, 2014. – Вып. 111. – С. 64-69
20. **Макарова А.Н.** Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей: дис. канд. техн. наук / **А.Н. Макарова.** //– Тюмень, 2015. – 208 с.
21. **Верхорубов, В. В.** К вопросу о разработке имитационной модели функционирования зоны текущего ремонта автотранспортного предприятия / **В.В. Верхорубов** // Молодые исследователи регионам: - Материалы всероссийской научной конференции студентов и аспирантов. В 2-х т. —Вологда: ВоГТУ, 2007 с. 260-262.

Рукопись поступила в редакцию 15.10.2020

УДК 621.9.022.1

А.О. РЯЗАНЦЕВ, В.І. КЛЯЦЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти, Л.А. БУГАЙ, ст. викладач Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ ХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ

Мета. Метою даної роботи є аналіз методів та засобів зниження трудомісткості операцій механічної обробки деталей гірничого обладнання, що виготовлені з високохромистих зносостійких чавунів, а саме – визначення оптимальних режимів різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої кромки при різних умовах обробки та обґрунтування геометричних параметрів ріжучого інструмента в умовах роботи з підвищеним навантаженням.

Методи дослідження. Були проведені дослідження стійкості змінних твердосплавних пластин з урахуванням різних факторів процесу різання. Результати роботи по оптимізації режимів різання, що застосовуються для обробки зносостійких чавунів отримані шляхом теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у визначенні параметрів та шляхів оптимізації процесу механічної обробки. Експериментальні дослідження засновані на комплексному вивченні взаємозв'язку режимів різання, геометрії ріжучого інструменту з різними умовами обробки деталей шламових насосів.

Наукова новизна. У результаті проведених досліджень були отримані дані про стан параметрів якості обробленої поверхні заготовок, що виготовлені зі зносостійких чавунів при обробці збірними різцями з різними інструментальними матеріалами та державками. Виявлені оптимальні режими різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої кромки для пластин із різних сплавів на різних проходах. Досліджено залежності режимів різання від застосовуваного ріжучого матеріалу та геометричних параметрів (зокрема головного куту в плані) різців.

Практичне значення. Зроблені дослідження дозволили з високою точністю визначити період стійкості різальних кромок змінних твердосплавних пластин і зробити їх порівняльний аналіз для раціонального використання часу і фінансових ресурсів. Зокрема встановлені раціональні режими різання та геометричні параметри різців.

Результати. Встановлено, що використання запропонованого ріжучого інструменту фірми «ZCC» дозволило скоротити трудомісткість механічної обробки деталей зі зносостійких хромистих чавунів майже в 2 рази. Збільшення показників зниження трудомісткості токарних операцій можливо при роботі другим супортом верстата. Обов'язковими умовами на чорнових та напівчистових операціях є використання різців головний кут в плані (φ)

який не повинен перевищувати 20° , що досягається спеціальною конструкцією державки, а глибина різання не повинна перевищувати 3 мм.

Ключові слова: зносостійкий чавун, режими різання, тврдосплавні пластини, стійкість, трудомісткість обробки.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-34-39

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Автоматизація виробництва і підвищення продуктивності обладнання без зниження якості продукції, що випускається, а також застосування сучасних зносостійких матеріалів (з метою збільшення терміну служби виробу) є одним з основних завдань сучасного машинобудування. Хромисті зносостійкі чавуни є перспективним конструкційним матеріалом, що володіє високими антикорозійними та зносостійкими властивостями, що дозволяють підвищити довговічність і надійність машин, які працюють в умовах інтенсивного абразивного і гідроабразивного зношення. Високохромисті зносостійкі чавуни (ЗЧХ) є багатокомпонентними сплавами з різноманітними структурами і широким діапазоном фізичних і хімічних властивостей. Внаслідок високої твердості та зносостійкості ці матеріали мають незадовільну оброблюваність різанням.

У сучасному машинобудуванні наявність високопродуктивного обладнання, досконалого ріжучого інструменту не завжди забезпечують виготовлення виробу з високою ефективністю, якщо їх робота здійснюється на режимах, які не є оптимальними. Оптимальними вважаються режими, при яких в результаті найкращого поєднання параметрів різання забезпечується обробка деталі з найбільшою продуктивністю і мінімальною собівартістю деталі. Також режими обробки впливають на технічні та економічні показники виробництва.

Особливе значення при розрахунку режимів різання має залежність між стійкістю ріжучого інструменту, швидкістю різання (V), подачею (S) і глибиною різання (t), а також геометричними параметрами ріжучого інструменту. Згідно з рекомендаціями фірм, що випускають тврдосплавні пластини, а також нормативно-технічних документів, стійкість ріжучої кромки тврдосплавної пластини становить 30-90 хв. Від стійкості тврдосплавних пластини залежить величина допоміжного часу (втрата часу на установку пластини в державку, налаштування обладнання та т.п.), а отже, і витрати на виготовлення продукції.

Оскільки на підприємствах Кривого Рогу (ГЗК) використовується велика кількість обладнання деталі якого виготовлені з ЗЧХ, зокрема корпуси та броні шламових насосів (рис. 1), але майже відсутні систематизовані дані про оброблюваність різанням таких матеріалів в литому стані лезвійним інструментом, а також відсутні науково обґрунтовані принципи вибору оптимальних режимів різання, що забезпечать найбільший період стійкості ріжучих кромок при різних умовах обробки. Тому оптимізація параметрів режимів різання, підбір інструменту, ріжучих пластин та максимальне зниження трудомісткості механічної обробки ЗЧХ, має важливе практичне значення і є актуальним науковим завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Вибір оптимальних режимів різання та технологій, особливо у випадку обробки важкооброблюваних матеріалів, до яких відносяться ЗЧХ, веде до підвищення стійкості металорізального інструменту. В процесі обробки в системі «ріжучий інструмент – деталь» значний вплив на ріжучу кромку пластини мають складові сили різання і сили тертя, що виникають при контакті пластини і деталі [1]. Під дією зазначених сил виникає знос ріжучих кромок пластини. Тому зменшення цих сил та поліпшення оброблюваності високохромистих чавунів можна досягти за рахунок пом'якшувальною термічної обробки [2-6]. В якості пом'якшувальних технологій були застосовані різноманітні джерела енергії (лазерний промінь, плазма, електрична дуга та ін.) [7-11]. Так було встановлено, що попереднє плазмове нагрівання забезпечує протікання специфічного термічного циклу в матеріалі припуску, у результаті чого змінюються твердість і пластичність оброблюваного матеріалу [11]. Але для відновлення зносостійких властивостей ЗЧХ проводилася додаткова термічна обробка [2, 4]. Така технологія є дорогою та енерговитратною.

У роботах [2-6] оцінка оброблюваності ЗЧХ проводилася шляхом свердління або методом торцевого точіння. В результаті цих досліджень були розроблені рекомендації щодо вибору режимів різання для конкретних марок чавунів і деталей.

Вплив вуглецю і хрому на оброблюваність зносостійких чавунів, що не містять нікель, після пом'якшувальною термічної обробки досліджував М.Є. Гарбер [12-13]. Встановлено, що для

чавунів з 12% Cr і 1,5% Mo погіршення оброблюваності настає при вмісті вуглецю понад 3,2% після появи в структурі заевтектичних карбідів і сітки цементиту. Для чавунів, що містять 3% C, 1,5% Mo і 0,8% Mn, погіршення оброблюваності спостерігалось при вмісті хрому понад 30%, що пов'язано з підвищенням твердості основи в результаті легування її хромом, а також з появою в структурі чавунів великих заевтектичних карбідів. За даними [12, 13] оброблюваність комплексно-легованих чавунів, що містять до 3% Ni (ИЧ290Х28Н2) і 3% Mn (ИЧ260Х17Н3ГЗ), не можна поліпшити пом'якшувальною термічною обробкою, що пояснюється надмірним легуванням цих чавунів, стабільністю аустеніту і неможливістю отримання продуктів перлітного розпаду.

При механічній обробці матеріал деталі піддається силовому та тепловому впливу в результаті тертя між різцем і деталлю [14]. При силовому впливі в оброблюваному матеріалі виникає внутрішня напруга, протікає пластична деформація, зміцнення (наклеп). Підвищення температури в зоні різання може викликати зміни в оброблюваному матеріалі, що призводять до зниження твердості [15]. Різання є комплексним показником, що залежить від вихідної структури і властивостей матеріалу деталі, стану литої поверхні, наявності ливарних дефектів (раковин), матеріалу різця, режимів різання, процесів, що викликають зміну структури і властивостей під час обробки та інших факторів, більшість яких мало або зовсім не вивчені.

Дві третини номенклатури металорізального інструменту в машинобудуванні складають інструменти, оснащені пластинами з твердих сплавів. [1, 16]. Основним критерієм для змінних твердосплавних пластин виступає їх стійкість. Стійкість пластини – це здатність матеріалу, з якого вона виготовлена, зберігати свої фізичні властивості в певний період часу. Період стійкості змінних твердосплавних пластини залежить від марки твердого сплаву, геометрії, покриття, а також від умов різання [17]. Застосування раціональних параметрів обробки і правильне застосування інструменту зі змінними пластинами неможливо без всебічного вивчення та проведення виробничих випробувань.

Оскільки застосування пом'якшувальних технологій для більшості зносостійких чавунів не є можливою, тому максимальне зниження трудомісткості механічної обробки ЗЧХ буде досягнута не при використанні сучасних інструментальних матеріалів, а також визначенні оптимальних параметрів режиму різання та геометрії ріжучого інструменту.

Постановка задачі. Дослідження стійкості змінних твердосплавних пластин з урахуванням різних факторів процесу різання при обробці дорогих деталей, коли відмова інструменту може привести до непоправного браку, є актуальним завданням. Тому метою даної роботи є аналіз методів та засобів зниження трудомісткості механічної обробки зносостійких чавунів. Сформульована мета роботи обумовила необхідність розв'язання такої задачі, як визначення оптимальних режимів різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої кромки при різних умовах обробки ЗЧХ та обґрунтування геометричних параметрів ріжучого інструменту в умовах роботи з підвищеним навантаженням.

Викладення матеріалу та результати. Структура зносостійких чавунів в литому стані являє



Рис.1. Загальний вид шламового насосу НП – 800

собою матрицю у вигляді мартенситу і залишкового аустеніту (HV 4500 – 5000 МПа) з включеннями евтектичних і вторинних карбідів хрому (HV 11000 – 19000). Зазначені карбіди розташовуються у вигляді скупчення або у вигляді каркасної сітки, що є основою високої твердості і зносостійкості чавуну. Після відпалу структура основи змінюється і вдає із себе перліт (HV 3000 – 4000 МПа). На оброблюваність чавунів і на знос інструменту впливає структура чавуну, а саме будова основи, тип карбідів, їх розмір і

взаємне розташування, а також режими різання.

Знос інструменту представляє собою складний фізико-хімічний процес руйнувань поверхневих шарів, що складається з абразивного, адгезійного, окисного і деформаційного процесів. Всі ці види зносу тісно пов'язані між собою, визначаючи в цілому сумарний знос інструменту. Однак питома вага кожного з них в сумарному зношенні різна і залежить від властивостей матеріалів контактуючих пар, а також умов обробки.

Були проведені дослідження зношення (стійкості) збірних різців з механічним кріпленням ріжучих пластин виробництва корпорації «ZCC» (Китай) при обробці виробів з ЗЧХ (ІЧ210Х30Г2Н2СЛ).

В якості об'єкта дослідження для визначення оптимальних режимів різання були обрані змінні ріжучі многогранні пластини форми CNMA190616 та SNMA 190616 виготовлені з матеріалу (твердий сплав) YBD 152, YBD102 виробництва корпорації «ZCC».

Використовувались державки наступних видів:

спеціальна C194040L250, з кутом ϕ 20°;

спеціальна S194040L250, з кутом ϕ 20°;

PSSNR4040S19;

PSBNR4040S19;

PCBNR4040S19;

PCLNR4040S19.

Стійкість даних пластин та визначення оптимальних режимів різання були досліджені при чорновій, напівчистовій та чистовій обробці наступних деталей:

корпус робочого колеса насоса НП-800;

корпус внутрішній насоса НП-800;

патрубок внутрішній засмоктуваний;

броня кришки насоса НП-500 креслення 25687 -1 А-3К.

Випробовування проводились на токарно-карусельних верстатах моделей КУ487, 1550, 1541, 1525, 1Л532, DKZ6300, токарно-гвинторізного верстаті мод. 1А671 та лоботокарному мод. DP4.

Результати випробовувань та оптимальні режими різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої кромки для пластин із різних сплавів на різних проходах приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати досліджень, та оптимальні режими різання

Показники	Чорновий прохід	Напівчистовий прохід	Чистовий прохід
Ріжуча пластина	CNMA190616, SNMA 190616		
Вид твердого сплаву	YBD 152		YBD102
Державка	Спеціальна $\phi = 20^\circ$; C194040L250 Спеціальна $\phi = 20^\circ$; S194040L250		PSSNR4040S19 PSBNR(L) PCBNR(L) PSSNR (L) (в залежності від форми поверхні)
Головний кут в плані ϕ°	20° (обов'язкова умова)		75° (В) 95° (L) 45° (S)
Оптимальні режими різання			
Швидкість різання (V), м/хв	6-7		14-16
Подача (S), мм/об	0,75-1		0,35-0,5
Глибина різання (t), мм	3		3
Середня стійкість ріжучої кромки (T), хв.	45-60		60-90
Середнє зниження трудомісткості (кількість разів):			
на окремих операціях	1,4 – 1,6		1,6 – 2,0
на виробках	1,8		

Аналізуючи період стійкості ріжучих кромки досліджуваних пластин при обробці деталей насосів в середньому в 1,8 разів вище, ніж при обробці різцями з напаяними пластинами ВК8. Оптимальні режими різання, що приведені в табл. 1, можливо корегувати у процесі напрацю-

вання досвіду в роботі. Використання ріжучого інструменту корпорації «ZCC» (Китай) дозволило скоротити трудомісткість виготовлення розглянутих деталей з ЗЧХ (обробку окремих поверхонь деталей) в 1,4 – 2,0 рази, приклад приведено в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняння трудомісткості обробки деталей

Деталь, що оброблюється	Операції	Трудомісткість обробки, в/год		Зниження трудомісткості (кількість разів)
		напаяні різці ВК8	складальні різці «ZCC»	
Броня кришки насоса НП-500	Обробка II сторони деталі	15,8	8,2	1,9
Патрубок насоса НП-800	Повна обробка деталі	80-90	50-60	1,5-1,6

Встановлено, що збільшення показників зниження трудомісткості токарних операцій можливо при роботі другим супортом верстата. Доцільно укомплектувати верстати, що задіяні при обробці деталей з ЗЧХ державками спеціальними з головним кутом в плані ϕ 200 та державками стандартними з ϕ 75°, ϕ 95°, ϕ 45°, які обираються в залежності від форми оброблюваної поверхні.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Зроблені дослідження дозволили з високою точністю визначити період стійкості різальних кромки змінних твердосплавних пластин і зробити їх порівняльний аналіз для раціонального використання часу і фінансових ресурсів. Зокрема встановлені раціональні режими різання та геометричні параметри різців.

Використання запропонованого ріжучого інструменту фірми «ZCC» дозволило скоротити трудомісткість механічної обробки деталей з ЗЧХ майже в 2 рази.

Враховуючи чутливість ріжучих пластин до збільшення навантаження, обов'язковими умовами на чорнових та напівчистових операціях є:

використання пластин (різних форм, що досліджуються) зі сплаву YBD 152;

головний кут в плані ϕ_0 не повинен перевищувати 20°, що досягається спеціальною конструкцією державки;

глибина різання не повинна перевищувати 3 мм;

недопустимо експлуатувати зношені кромки (своєчасна заміна);

максимально використовувати одночасно два супорта верстата.

Список літератури

1. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Оптимизация выбора режущего инструмента на основе методов сравнительного анализа. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2010, №5-2.
2. Бергун М.Н., Волчок И.П., Живица И.В., Топал В.И. Влияние термической обработки на свойства высокохромистого чугуна – *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1971. № 1. С. 64–66.
3. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны. М: Машиностроение, 2010. 280 с.
4. Кириллов А.А., Белов В.Д., Рожкова Е.В. Структурно и неструктурно чувствительные свойства хромистых чугунок. *Черные металлы*. 2007. № 9. С. 7–13.
5. Чабак Ю.Г., Ефременко В.Г., Кравцов А.С. Новые подходы к выбору режима смягчающей термической обработки высокохромистых чугунок. *Проблемы и перспективы развития ж.-д. трансп.: тез. докл. 73 междунар. науч.-практ. конф. Днепропетровск: ДНУЖТ*, 2013. С. 282–283.
6. Чабак, Ю. Г. Влияние режима отжига на микроструктуру и твердость высокохромистых чугунов с повышенным содержанием аустенитообразующих элементов. *Стр-во, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. Днепропетровск: ПГАСА*, 2013. Вып. 67. С. 188–192.
7. Amin A.K.M.N., Abdelgadir M., Kamaruddin K. Effect of Workpiece Preheating on Machinability of Titanium Alloy. In *Proceedings of the International Conference ICAMT*, 2004. P. 145–152.
8. Sun S., Brandt M., Dargusch M.S. Thermally Enhanced Machining of Hard-to-Machine Materials – A Review. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2010, №50. P. 663–680.
9. Leshock C.E.; Kim Jin-Nam, Shin Yung C. Plasma Enhanced Machining of Inconel 718: Modeling of Workpiece Temperature with Plasma Heating and Experimental Results. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2001, №41. P. 877–897.
10. Chen S.H., Tsai K.T. Predictive Analysis for the Thermal Diffusion of the Plasma-Assisted Machining of Superalloy Inconel-718 Based on Exponential Smoothing, *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018, Vol. 2018. Article ID 9532394, 9 pages.
11. Нечасв В.П., Рязанцев А.О., Солодун О.О. Вплив силового і теплового навантаження зуба фрези на стійкість леза при плазмово-механічному фрезеруванні. *Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць*. 2018. Вип. 47. С. 149-153
12. Гарбер М. Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. М.: Машиностроение, 2010. 280 с.

13. **Гарбер М. Е.** Отливки из белых износостойких чугунок. М.: Машиностроение, 1972. 112 с.
14. **Вакулєнко І.О., Кадильникова Т.М., Пройдак С.В.** Технологія механічної обробки металевих матеріалів. Дніпропетровськ: Стандарт-Сервіс, 2014. 176 с.
15. **Нетребко В.В.** Влияние марганца на структуру высокохромистых чугунок. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2012. Вип. 42. С. 167–169.
16. **Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.** Методика сравнительного анализа конструкций сборного режущего инструмента. Механика XXI века. 2009. №8.
17. **Яцун Е.И., Кудряшов Е.А., Смирнов И.М., Павлов Е.В.** Совершенствование инструментального обеспечения процессов точения конструктивно сложных деталей. СТИН. 2017, №9. С. 23-28.

Рукопис подано до редакції 15.10.2020

УДК 622.647.2

І. А. МАРИНИЧ, С. А. РУБАН, кандидати техн. наук, доценти,
О. Ю. СЕРДЮК, канд. техн. наук, ст.викладач
Криворізький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТУ TRUETIME ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ ІЗ ЗАПІЗНУВАННЯМ І ВАРІЙОВАНИМ ПЕРІОДОМ ДИСКРЕТНОСТІ

Мета. Метою даної роботи є підвищення якості керування об'єктами з запізненням або змінним періодом дискретності за рахунок використання моделювання в режимі реального часу.

Методи дослідження. У роботі використано методи теорії автоматичного керування для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкту керування, методи імітаційного і комп'ютерного моделювання в режимі реального часу, комп'ютерні інформаційні та програмні технології для підвищення якості керування об'єктами з запізненням або змінним періодом дискретності.

Наукова новизна. У роботі пропонується застосування пакету TrueTime як допоміжної бібліотеки MATLAB/Simulink, спеціально розробленого для моделювання дискретних керуючих пристроїв і систем, цифрових систем в режимі реального часу. Використання цього пакету дозволяє полегшити моделювання поведінки багатозадачного процесорного ядра, що працює в режимі реального часу.

Практична значимість полягає у доцільності застосування пакету TrueTime, що підтримує різні технології передачі даних, як допоміжної бібліотеки MATLAB/Simulink, оскільки дозволяє реалізувати змінний період дискретизації та визначити найбільш доцільну мережу передачі інформації, що в свою чергу призведе до підвищення якості керування об'єктом в цілому.

Результати. Під реальним часом в роботі маюся на увазі урахування в системі керування властивостей основних промислових телекомунікаційних мереж, а саме затримки через час на повторне відсилання пакетів через колізії в мережі. Діаграми часу на виконання показали, що період дискретизації регулятора став неперіодичним, а з відхиленнями – змінним, тобто, за допомогою пакету TrueTime вдалося створити систему зі змінним періодом дискретизації. Моделювання 4 різних мереж: CAN, Ethernet, FDMA та TDMA показало, що найефективнішою стала мережа CAN, а найгірший показник має мережа FDMA. Не зважаючи на те, що система працювала у режимі реального часу з затримками у мережі, система залишилася стійкою.

Ключові слова: варійований період дискретності, затримка сигналу, мережі передачі даних, моделювання, об'єкт з запізненням, truetype

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-39-46

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Цифрові системи, що здійснюють керування в реальному масштабі часу і використовують ЕОМ для формування закону керування, є досить складними для аналізу. У даний час такі системи, як правило, виконуються на базі багатозадачних керуючих контролерів і мають мережеву організацію.

Оскільки для передачі інформації мережею потрібен певний час, при реалізації цифрового керування виникає часова затримка. Це призводить до зниження якості керування, іноді до неприпустимо низького рівня, а іноді і до виходу системи з ладу взагалі. Щоб уникнути негативного впливу такого запізнення і оптимально використовувати доступні системі керування обчислювальні ресурси, проектування алгоритмів керування та програмного забезпечення повинне вестися з урахуванням реального часу.

Аналіз досліджень і публікацій. У теорії цифрового керування інтервали здійснення вибірки зазвичай приймаються однаковими, а затримка керування вважається несуттєвою або постійною. Однак на практиці це має місце лише в окремих випадках. У контролері завдання накладаються одне на одне і блокуються в очікуванні загальних ресурсів. Час виконання самих завдань може змінюватись. Передача даних мережею відбувається із затримками, величина і стабільність яких залежать як від протоколу зв'язку, так і від завантаженості каналів. У цих умовах аналітичний аналіз поведінки цифрових систем керування є складним завданням, і так як немає єдиного методу боротьби зі змінними запізненнями в контурі керування, найбільш природним представляється шлях імітаційного моделювання [1, 2].

Імітаційне моделювання є ефективним інструментом оцінки характеристик процесів функціонування складних систем на етапах їх дослідження та проектування. Але цим можливості даного методу не обмежуються: у сучасних системах керування імітаційне моделювання використовується безпосередньо в контурі керування, на його основі вирішуються завдання прогнозування для прийняття рішень про необхідне керування територіально розподіленим об'єктом.

Розробка імітаційної моделі, яка характеризується змінним значенням кроку дискретизації, може вестися різними способами. Серед готових інструментів моделювання можна виділити побудовану на базі програми MATLAB пакет StateFlow [3]. Якщо залишатися в рамках стандартного набору MATLAB, можна побудувати Simulink-модель, використовуючи як приклад модель дискретної системи зі змінним тактом квантування [2,3], яка змінює крок квантування при зміні вхідного впливу, тобто за сигналом синхронізації.

Ще один варіант, який є найбільш цікавим і в достатній мірі не вивченим, полягає в застосуванні пакету TrueTime як допоміжної бібліотеки MATLAB/Simulink, яка доповнює і розширює можливості Simulink для моделювання цифрових систем в режимі реального часу. Ця бібліотека була створена для полегшення моделювання поведінки багатозадачного процесорного ядра, що працює в режимі реального часу [3, 4].

Постановка задачі. Завданням цієї роботи є застосування пакету TrueTime разом з MATLAB/Simulink для підтвердження доцільності його застосування при моделюванні цифрової мережевої системи керування об'єктом з запізненням. Для цього необхідно розглянути цифрову систему керування, реалізуючи мережу передачі даних, актуатор, датчик та регулятор засобами TrueTime. У якості мереж зв'язку обрати найбільш поширені мережі: CAN, Ethernet, FDMA та TDMA.

Викладення матеріалів і результатів. У TrueTime основними елементами є ядро операційної системи і мережевий блок у вигляді Simulink блоків під назвами TrueTime Kernel і TrueTime Network відповідно, які є S-функціями Simulink, і інтерфейси яких представлені на рис. 1. Блок Kernel керується подіями та виконує код, що буде моделюватися. Ядро цієї підпрограми насправді виконує роль повноцінної операційної системи, що базується на подіях, а Simulink використовується лише як інтерфейс та для видачі завдань з безперервних процесів. Політика планування окремих блоків процесорного ядра є довільною і вирішується користувачем. Наприклад, у мережі, повідомлення відправляються і приймаються відповідно до обраної користувачем мережевої моделі [3,4].

Рівень моделювання елементів також обирається користувачем - хоча, найчастіше, моделювання виконання коду на рівні інструкцій або мережевих передач на рівні бітів є непотрібним і небажаним. TrueTime дозволяє враховувати час виконання завдань і час на передачу повідомлень, які будуть змодельовані як постійні, випадкові, або залежні від даних змінні. Крім того, TrueTime дозволяє імітувати контекстне перемикання (мається на увазі такий тип багатозадачності, при якому операційна система одночасно завантажує

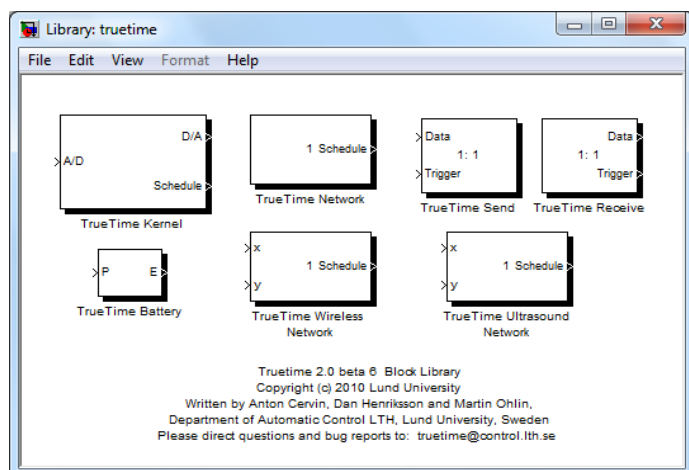


Рис. 1. Бібліотека TrueTime v2.0

два або більше додатків в пам'ять, але процесорний час надається тільки основним та синхронізацію задач за допомогою подій або контрольно-керуючого пристрою.

На додаток до блоку бібліотеки на рис. 1, TrueTime надає набір функцій мовою C++ з відповідним для MATLAB мех-інтерфейсом. Деякі функції використовуються для налаштування моделювання шляхом створення завдань, обробки переривань, таймерів і т.п. Решта функцій викликаються з коду завдань під час виконання: функції для аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворення, параметри зміни завдань, моніторинг вхідних і вихідних даних, відправки та отримання мережових повідомлень, і багато іншого.

TrueTime формується в компіляторі C++, який потрібно активувати в MATLAB, або в m-файлі програми MATLAB, що викликається для ініціалізації скрипту.

Блок Kernel є S-функцією MATLAB, і його функцією є імітація комп'ютера з простим, але гнучким процесорним ядром реального часу, аналого-цифровим і цифро-аналоговим перетворювачем, мережовим інтерфейсом і зовнішнім перериванням каналів. Kernel виконує користувальницькі завдання і обробку переривань. Внутрішньо, Kernel підтримує кілька структур даних, які зазвичай зустрічаються в ОС реального часу: готовність черг, час черги, реєстрація завдань, обробники переривань, спостерігачів і таймери, які були створені для моделювання [4, 6, 7].

Для роботи в TrueTime Kernel може бути створено довільне число завдань. Завдання також можуть бути створені динамічно під час процесу моделювання. Завдання використовуються для моделювання як періодичних дій, наприклад опитування портів введення/виводу, так і аперіодичних, таких як комунікаційні завдання і подієво-керовані регулятори [5,6].

Моделювання відбувається на трьох рівнях різних пріоритетів: рівень переривань (високий пріоритет), рівень процесорного ядра, і рівень завдань (нижчий пріоритет). Виконання може бути пріоритетним перериванням зв'язку або без нього, що може бути визначено індивідуально для кожного завдання і обробника переривання.

Наступний основний блок - Network. Блок імітації мережі передачі даних керується подіями і виконується тоді, коли повідомлення з'являються або зникають у мережі. Коли вузол намагається передати повідомлення, сигнал синхронізації передається в блок Network на відповідний вхід. Коли передача повідомлення закінчена, блок Network посилає новий сигнал синхронізації на канал допоміжного вузла, відповідного вузлу одержувача. Передане повідомлення записується до буферу приймаючого комп'ютерного вузла.

Блок Network моделює доступ до середовища і передачу пакетів локальною комп'ютерною мережею. На даний час бібліотека TrueTime версії 2.0 підтримує дев'ять технологій передачі даних: CSMA / CD (локальна офісна мережа Ethernet), CSMA / AMP (мережа CAN), Round Robin (Token Bus), FDMA, TDMA (TTP), Switch Ethernet, FlexRay, Profinet, а також NCM. Затримка розповсюдження в програмі не враховується, оскільки вона незначно мала [3-6].

Блоки Network формуються діалоговими масками, які є різними для кожного виду мережі. Так, є деякі загальні параметри для всіх мереж, до них відносяться номер мережі, кількість вузлів, швидкість передачі даних або розмір мінімального кадру. Інші параметри блока залежать від типу мережі, наприклад, потужність передачі або поріг приймача сигналу в бездротових мережах. Провідні мережі мають діалогове вікно як на рис. 2.

Наступні параметри мережі спільні для всіх моделей: кількість вузлів, бітрейт (біт/с), мінімальний розмір фрейму (байт), затримки до та після обробки даних, та вірогідність втрат. Атрибути, що визначені специфікою протоколу, включають розміри слоту для TDMA, розмір та тип буферу для Ethernet. Також може бути кілька мережових блоків в одній системі. Саме тому кожна мережа має ідентифікаційний номер.

Бібліотека TrueTime окрім описаних вище має ще 5 блоків. Вони виконують наступні задачі [3, 7, 8]:

TrueTime Wireless Network: функція цього блоку аналогічна TrueTime Network, але замість провідної мережі використовується бездротова;

TrueTime Battery: цей блок використовується, коли потрібно імітувати батарею і проаналізувати вплив різних схем управління живленням;

TrueTime Receive: Блок для отримання повідомлень з мережі.;

TrueTime Send: Блок для відправки повідомлень до мережі;

TrueTime Ultrasound Network: Найновіший блок, що імітує ультразвукову мережу.

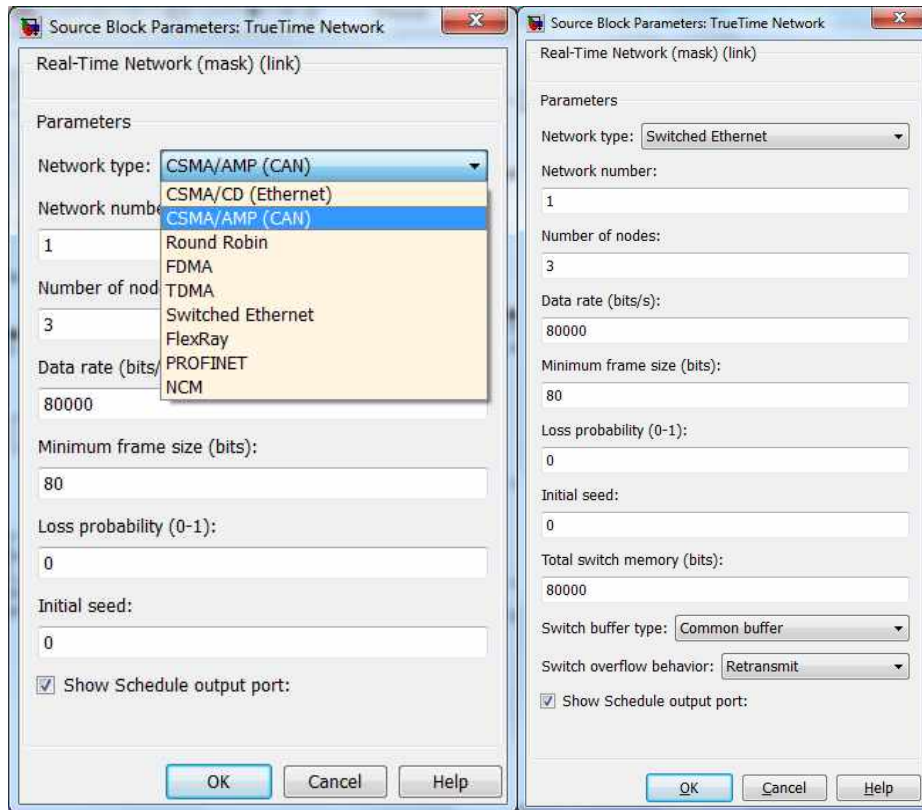


Рис. 2. Можливі налаштування блоку TrueTime Network

Перед тим, як запускати моделювання, необхідно ініціалізувати блоки процесорних ядер та мережеві блоки, а також запустити завдання, обробники переривань, таймери, події, спостерігачі і т.п. для моделювання. Код ініціалізації та код, що виконується під час моделювання, можуть бути записані або у вигляді М-файлів програми Matlab або мовою С++.

Розглянемо на прикладі моделювання цифрової системи автоматичного керування зі змінним періодом дискретизації [9]. У Simulink досить просто моделюються об'єкти з різного роду затримками. Використовуючи мову програмування С++, можна отримати в TrueTime опис керуючої частини системи, що моделюється. При цьому алгоритм керування може мати скільки завгодно високу складність, тимчасові затримки можуть бути як детермінованими, так і носити випадковий характер.

Конвеєр є ланкою запізнювання, тобто передає сигнал із входу на вихід без перетворювання форми, але миттєві значення вхідної величини (вантажопотоку), вихідна величина формується з деяким відставанням (запізнюванням).

Рівняння ланки запізнювання

$$y(t) = x(t - \tau),$$

де τ – тривалість запізнювання.

Рівняння не є диференціальним і належить до класу особливих рівнянь зі зміщеним аргументом.

Передаточна функція конвеєра має вигляд

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = e^{-st}$$

Ланка запізнювання робить характеристичне рівняння трансцендентним, тому при практичних розрахунках передаточну функцію розкладають у ряд Пада й враховують тільки два або три перших члени ряду, замінюють її дробовою раціональною функцією

$$W(s) \approx \frac{1 - 0.5\tau s}{1 + 0.5\tau s}$$

або

$$W(s) \approx \frac{1}{\left[\left(\frac{\tau}{n} \right) s + 1 \right]^n},$$

де n – кількість послідовно з'єднаних інерційних ланок першого порядку з однаковими постійними часу $T = \tau/n$. Причому, чим більше n , тим точніше апроксимація.

В ролі регулятора оберемо PID-регулятор, передавальна функція якого представляється наступними рівняннями [10]

$$P = K \cdot [\beta \cdot r(kh) - y(kh)],$$

$$I(kh + k) = I(kh) + K \cdot h \frac{r(kh) - y(kh)}{T_i};$$

$$D(kh) = T_d \cdot D \frac{(kh - h)}{(Nh + T_d)} - K \cdot T_d \cdot N \frac{y(kh) - y(kh - h)}{(Nh + T_d)};$$

$$u(kh) = P(kh) + I(kh) + D(k),$$

де K – постійна пропорційності, $K=1$; T_i – постійна інтегрування або час скидання, $T_i=0.12$; T_d – постійна диференціювання, $T_d=0.04$; N – використовується для обмеження підсилення високих частот, $N=1000$; h – шаг дискретизації, $h=0.01$; β – обмеження команд сигналу r , впливає на пропорційну частину; y – вихід.

та реалізується у програмі мовою C++:

```
function [exectime, data] = controller_code(seg, switch seg
case 1
y = ttGetMsg;
% Obtain sensor value if isempty(y)
disp('Error in controller: no message received!');
y = 0.0;
end
r = ttAnalogIn(1);
% Read reference value P = data.K*(r-y);
D = data.ad*data.Dold + data.bd*(data.yold-y);
data.u = P + D; data.Dold = D;
data.yold = y; exectime = 0.0005;
case 2
ttSendMsg(2, data.u, 80);
% Send 80 bits to node 2 (actuator)
exectime = -1; % finished
end
```

Параметри контролеру були обрані таким чином, щоб замкнута система мала пропускну спроможність $\omega_c=20$ рад/с і коефіцієнт загасання $\zeta=0,7$.

Модель цифрової системи керування, реалізуючої мережу передачі даних, актуатор, датчик та регулятор засобами TrueTime наведена на рис.3.

Контролер, а саме PID-регулятор, постійно опитує датчик, а також посилає управляючі імпульси на актуатор з інтервалами рівними шагу дискретизації. З іншого боку, в мережі передачі даних постійно діє механізм порушень, тобто в системі виникають затримки різного характеру. І тому, посылаючи запит від регулятора до датчика/виконавчого механізму, система зв'язку затримує сигнал синхронізації (планування затримок та черг), і, таким чином, регулятор отримує застарілу інформацію про стан датчика. Так з'являється змінний період дискретизації регулятора [9, 11, 13].

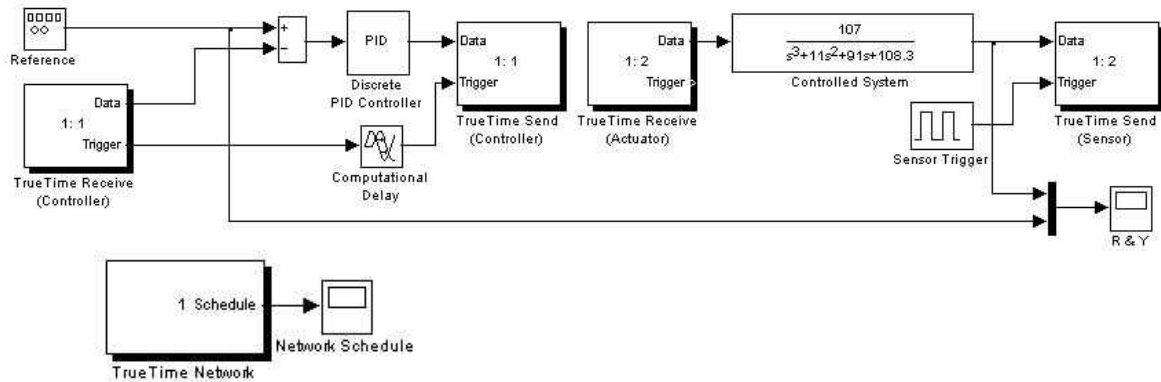


Рис. 3. Модель системи керування в пакеті TrueTime

Моделювання графіків вихідної величини для різних мереж разом з опорним значення представлені на рис. 4, на графіку було обрано 4 різні мережі: CAN (червона лінія), Ethernet (жовта лінія), FDMA (рожева лінія) та TDMA (синя) які включалися з однаковими характеристиками.

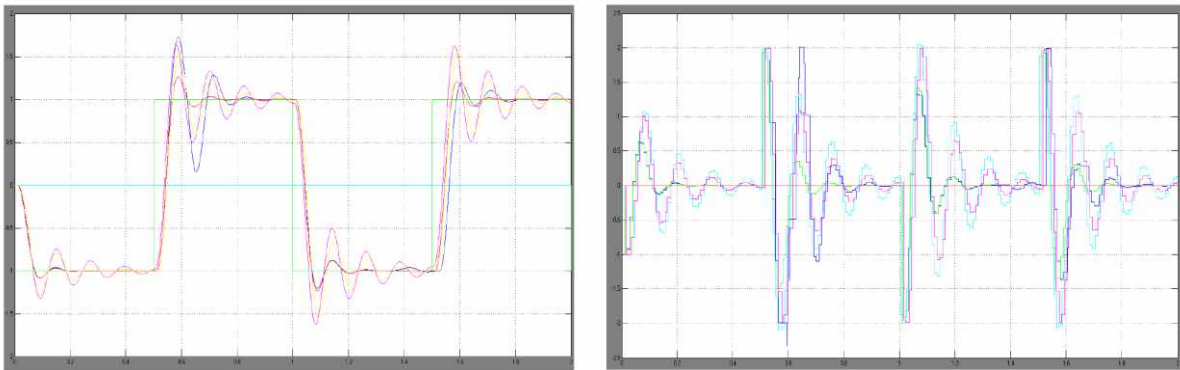


Рис.4. Графіки напруги привідного двигуна та сигналів керування PID-регулятора для різних мереж з однаковими характеристиками

Блоки TrueTime Kernel та Network генерують вихідні діаграми у залежності від моделювання. Кожне процесорне ядро виробляє дві діаграми: діаграми плану передавача (рис.5) та діаграми приймача (планування датчик/актуатор на рис. 6), а мережевий блок виробляє план затримок та черг для трьох об'єктів (рис. 7).

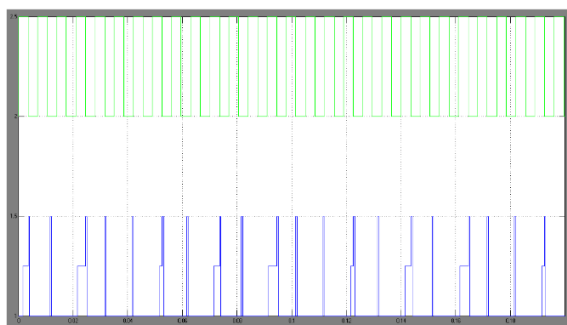


Рис. 5. Планування подій регулятора

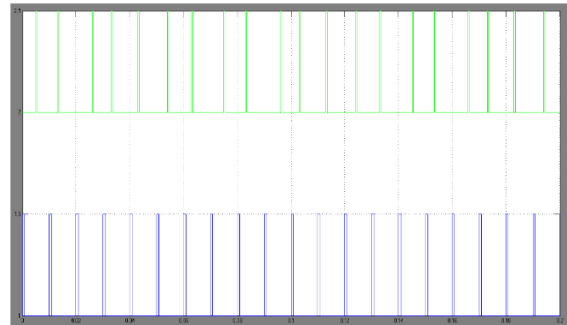


Рис. 6. Планування блоку актуатор/датчик

План регулятора показує лінії виконання кожного завдання та оброблювач переривань впродовж перебігу симулювання.

Буде одна лінія виконання для кожного завдання та оброблювача. Якщо сигнал високий, це значить, що завдання виконується. Середній сигнал показує, що завдання готове, але не виконується (очікує), тоді як низький сигнал значить, що завдання незайняте [8, 12].

Аналогічним шляхом планування мережі показує передачу повідомлень у мережі. Високий рівень сигналу означає передачу повідомлення, середній – очікування, низький – незайнятість.

Висновки і напрямки подальших досліджень. Під реальним часом в роботі малося на увазі урахування в системі керування властивостей основних промислових телекомунікаційних мереж, а саме затримки через час на повторне відсилення пакетів через колізії в мережі. Діаграми часу на виконання (рис. 5 – 7) слід інтерпретувати як квантування за часом. А опираючись на це згідно з рис. 7 бачимо, що період дискретизації регулятора став неперіодичним, а з відхиленнями - змінним. Тобто, за допомогою пакету TrueTime вдалося створити систему зі змінним періодом дискретизації.

Слід також зазначити, що у якості мереж зв'язку було обрано 4 різні мережі: CAN, Ethernet, FDMA та TDMA, результати дії яких вочевидь мають різний вплив на систему автоматизації. Було проведено моделювання системи регулювання конвеєром через ці мережі, які включалися з однаковими характеристиками: швидкість передачі 10кбайт/с., мінімальний розмір кадру 10байтів.

Найефективнішою стала мережа CAN: перерегулювання вихідної координати системи найменше й складає 12%; час наростання – 0.05с.; період загасаючих коливань – 0.14с. Найгірший показник має мережа FDMA.

Не зважаючи на те, що система працювала у режимі реального часу з затримками у мережі, система залишилася стійкою.

Список літератури

1. Ю.В. Дворянников, М.П. Туманов. Переменное запаздывание в сетевом компоненте и его влияние на устойчивость систем управления // Приборостроение, методы и технологии. 2008г. №4
2. Д. А. Ермолович, А. П. Мовчан. Управление объектами с большим запаздыванием. // Труды Национального технического университета Украины «КПИ». 2009г. №39.
3. A. Cervin et. al. TrueTime 2.0 beta – Reference Manual, Department of Automatic Control, Lund University, January 2009
4. Simulation of Wireless Networked Control Systems. // Martin Andersson, Dan Henriksson, Anton Cervin. Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden
5. Simulation of networked control systems using truetime. // E. Farkas, J. Hnát. Institute of Control and Industrial Informatics. 2011.
6. Wonham W.M. Stability Analysis of Linear Systems with Time-Varying Delays: Delay Uncertainty and Quenching. // New Orleans, LA, USA, Dec. 12-14, 2007.
7. D. Henriksson et. al. TrueTime Simulation of Networked Computer Control Systems, Preprints of the 2nd IFAC Conf. on Analysis and Design of Hybrid Systems (Alghero, Italy), 7-9 June 2006
8. A. Cervin et. al. Simulation of Networked Control Systems Using TrueTime [online], cit.24.10.2009, available at: <http://www.control.lth.se/documents/2007/cer+07ncs.pdf>
9. Об устойчивости сложных систем с запаздыванием. // Александров А.Ю., Жабко А.П. УТЭОСС, Санкт-Петербург. 2012г.
10. Денисенко В. В. ПИД - регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. 2006. № 4. с. 66 – 74
11. А.Н. Скворцов, О.В. Сердюков, А.И. Тимошин, А.А. Дорошкин. Применение промышленной сети CAN в современных системах автоматизации // Автоматизация в промышленности. №11. 2003.
12. Åström, Karl J. and Björn Wittenmark (1997): Computer Controlled Systems (Third Edition), Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., ISBN 0-13-314899-8.
13. Optimal and robust control for linear state-delay systems. // Michael Basin, Jesus Rodriguez-Gonzalez, Leonid Fridman. Journal of The Franklin Institute, 2006.

Рукопис подано до редакції 16.10.2020

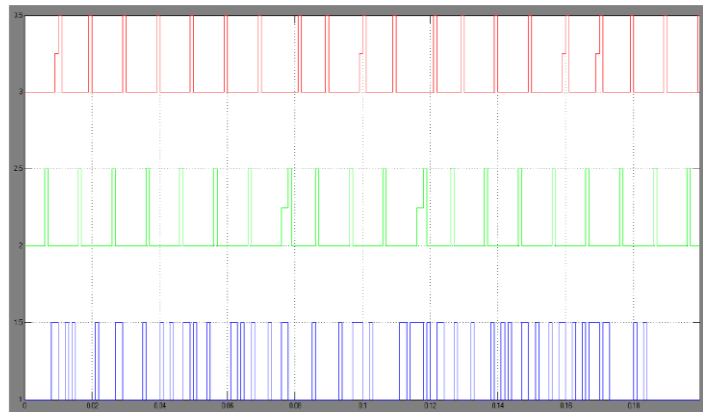


Рис. 7. Планування мережевого блоку мережі CAN

І.А. КОТОВ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІЙ НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО ПЕРСОНАЛУ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ

Метою статті є виклад результатів дослідження показників надійності роботи оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП) енергосистеми при ліквідації аварійних ситуацій. Розглядаються варіанти ліквідації аварії стандартною зміною ОДП і зміною, що використовує засоби інтелектуальної підтримки прийняття рішень (СППР). Для оцінки ступеня впливу системи підтримки рішень на надійність ОДП прийнята модель розподілу надійності по етапах операцій ліквідації аварії. Доведено, що використання СППР забезпечує додатковий запас надійності ОДП з урахуванням втоми.

Методи дослідження полягають у використанні методів теорії надійності, теорії множин, математичної логіки, теорії автоматів, електроенергетичних систем (ЕЕС), теорії графів, математичної статистики. Прийнято, що відмови в диспетчера є сукупністю закономірних і випадкових відмов. Інтенсивність відмов диспетчерської вахти вважається постійною, потік відмов має розподіл Пуассона, а функція надійності підпорядковується експоненціальному закону.

Наукова новизна полягає в новій моделі оцінки економічної ефективності СППР в аварійних режимах експлуатації енергосистеми. Розроблена СППР показала переваги перед аналогами по визначальним критеріям. Розроблено методику і зроблено оцінку надійності диспетчерської вахти в аварійному режимі. Проведена кількісна оцінка ефекту підвищення надійності ОДП від використання СППР при ліквідації аварійного порушення режиму ЕЕС.

Практична значимість роботи полягає в удосконаленні автоматизації управління режимами енергосистеми шляхом впровадження в середу оперативного інформаційно-управляючого комплексу (ОІУК) системи підтримки прийняття рішень. Це забезпечує запас надійності ОДП, який виражається як різниця між контрольним значенням коефіцієнта надійності і практичним значенням надійності при використанні СППР з урахуванням втоми.

Результатами роботи є модель оцінки надійності диспетчерської вахти в аварійному режимі, яка включає в себе розподіл видів надійності по частковим операціям при ліквідації аварійного порушення режиму ЕЕС, модель стомлюваності, яка підпорядковується експоненціальному закону. Результат використання СППР при ліквідації аварії може бути оцінений як приріст додаткового часу безперервної експлуатації ОДП при надійній ліквідації аварійної ситуації. Приведена графічна інтерпретація розподілу функції надійності ОДП для оцінки ефективності використання СППР.

Ключові слова: енергосистема, надійність, аварійна ситуація, коефіцієнт готовності, логістична функція, інтенсивність відмов.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-46-52

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Ефективність комплексу СППР і ОДП характеризується ступенем підвищення надійності ОДП при спільній роботі з СППР. В [1] зазначено, що «кількісна оцінка ризику аварій з вини персоналу утруднена невизначеністю характеристик надійності персоналу, а множинні помилки практично не піддаються аналізу». Однак, можна вважати, що ефект підвищення надійності виникає від розпаралелювання інформаційних потоків між ОДП і СППР, внаслідок чого знижується психофізіологічне навантаження на диспетчера і, тим самим, підвищується надійність його рішень і дій [2]. Тому в якості загальної оцінки підвищення ступеня надійності ОДП від впровадження та використання СППР в аварійних режимах будемо розглядати збільшення середнього періоду безвідмовної роботи диспетчерської вахти.

Аналіз досліджень і публікацій. Прийmemo, що відмови в роботі диспетчера є сукупністю закономірних і випадкових відмов. Інтенсивність відмов диспетчерської вахти може вважатися постійною, потік відмов має розподіл Пуассона, а функція надійності підпорядковується експоненціальному законом [3, 4].

Реалізуємо наступну схему випробування на надійність диспетчерської вахти – $[N, B, T]$, де N – кількість випробовуваних елементів (диспетчерських вахт), B – умова, при якій елемент, що відмовив, – диспетчерська вахта, негайно замінюється новою, T – час, протягом якого ведуться спостереження (випробування).

Диспетчерська вахта може вважатися високонадійним елементом, тому $\lambda T \ll 1$, де λ – інтенсивність відмов, рік⁻¹, T – час спостереження, рік. Тоді умовну щільність розподілу моментів відмов можна прийняти як щільність рівномірного розподілу

$$\frac{\lambda e^{-\lambda T}}{1 - e^{-\lambda T}} \quad (1)$$

Інтенсивність відмов (небезпека відмов [4]) диспетчерської вахти енергосистеми визначається як

$$\lambda = \frac{r(T)}{N \cdot T}, \quad (2)$$

де $r(T)$ – кількість відмов, що відбулися за період T .

При допущенні постійної інтенсивності відмов ОДП функція надійності буде підкорятися експоненціальному закону

$$R(t) = e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Кваліфікації диспетчерів зміни вважаються однаковими: $\lambda_1 = \lambda_2$.

На основі прийнятого інструментарію оброблений великий фактологічний масив експериментальних даних [2, 3, 5 – 10]. Фактичні дані про надійність дій ОДП в стресових аварійних ситуаціях отримані методом спостережень і хронометражу, частково – за допомогою електроенцефалографічних досліджень і характеризують ризики прийняття диспетчерських рішень в умовах невизначеності [2].

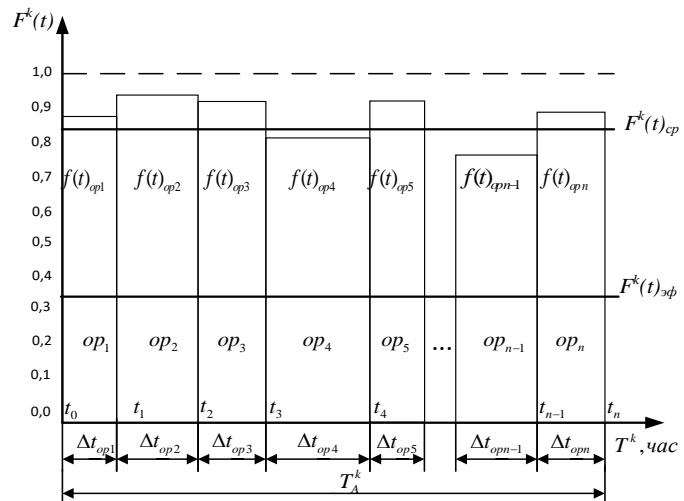
Постановка завдання. На основі фактичних даних зробимо оцінку надійності диспетчерської вахти в аварійному режимі. Під надійністю в аварійному режимі будемо розуміти надійність ОДП при ліквідації конкретної аварії в конкретних технологічних умовах при часових і психофізіологічних обмеженнях. Виходячи з цього, модель оцінки надійності ОДП повинна розглядати відмови ОДП в проміжок часу розвитку і ліквідації однієї аварії. Час обслуговування аварії складається з періодів ліквідації окремих аварійних етапів, а підсумкова надійність є результат комплексування часткових показників надійності обробки зазначених аварійних етапів. Кожен етап характеризується глибиною і масштабом аварійних збурень, часом проходження інформації і реалізованих рішень, кваліфікацією ОДП. Графічна ілюстрація використовуваної моделі оцінки надійності ОДП при ліквідації аварійної ситуації k -ого типу зображена на рис. 1.

Рис. 1. Модель розподілу надійності по етапах операцій ліквідації аварії k -го типу

Викладення матеріалу та результати. Для чисельного моделювання та аналізу надійності дій ОДП розглянута аварійна ситуація зниження частоти в енергосистемі і дії оперативного персоналу при зниженні частоти [11]. Згідно [12], діяльність диспетчера може бути представлена як композиція типових дій (операцій), що характеризуються індивідуальною надійністю і часом виконання. Тому, на основі аналізу змісту дій ОДП при ліквідації аварії виявлені типові диспетчерські операції (реакції) і відповідні їм величини надійності [13 – 15]. Кожну операцію по ліквідації аварійної ситуації зниження частоти в енергосистемі, регламентовану інструкцією ОДС-8 з попередження і ліквідації технологічних порушень в електричній частині електростанцій, підстанцій і електричних мереж, представимо у вигляді комбінації елементарних дій. Дані про кодування інструктивних операцій наведені в табл. 1.

Подамо інструктивні операції ОДП з табл. 1 у вигляді комбінації надійності типових дій, запропонованих А.І. Губинським [13], і визначимо показники програмної – F_β , часової – F_θ і параметричної – F_δ надійності ОДП, які наведені в [13, 16]. Для наведеної моделі очевидні наступні показники [16].

Загальний час ліквідації аварії k -го типу.



Зміст операцій зміни ДД ОДС по ліквідації аварійного порушення режиму ЕЕС – зниження частоти

Зміст операції
Отримавши команду, на відключення споживачів по ГАВ, СпецГАВ або ГПО ДД ОДС дає розпорядження підпорядкованому оперативному персоналу на відключення споживачів за графіками
Очікування дій підлеглого оперативного персоналу по запису величин навантаження і відключення приєднань
Прийом повідомлень від підлеглого оперативного персоналу про відключення приєднань
Прийом доповіді від підлеглого оперативного персоналу про спрацювання пристроїв АЧР із зазначенням величини відключеною навантаження
Повідомлення про причини введення графіків ДД ОДГ, про введення графіків і причини введення, про відключення споживачів від АЧР технічного керівника
Контроль заборони ручного включення приєднань, відключених від дії АЧР без дозволу ДД ОЕС і ОДС
Контроль запасів палива і гідроресурсів з метою недопущення розвалу ОЕС України
Контроль масового спрацювання пристроїв АЧР. Допускаються багаторазові відключення одних і тих же приєднань по ГАВ, СГАВ з проміжком між відключенням 1-2 години
Перевірка відключення споживачів від спецчерги АЧР і зависання частоти на рівні 49,0 Гц
Заміна обсягу спецочереді АЧР відключенням і обмеженням споживачів за графіками обмежень та відключень, не допускаючи перерви харчування цих споживачів більш ніж на 2 години
Контроль включення приєднань, відключених від АЧР
Контроль випадків відключення по ГАВ, СГАВ і ГПО тільки частини ліній, які живлять одного споживача. ДЕМ ПС повинні зафіксувати навантаження всіх ліній, які живлять даного Споживача
Контроль навантаження ліній, які залишилися в роботі. Отримання доповідей про збільшення навантаження цих ліній
Контроль не зниження навантаження Споживача протягом 10 хвилин
Розпорядження відключити інші приєднання, що живлять даного споживача

$$T_A^k = \sum_{i=1}^n \Delta t_{opi}, \tag{4}$$

де Δt_{opi} – проміжок часу для виконання однієї i -ої часткової операції.

Середня надійність ОДП при ліквідації аварії k -го типу.

$$F^k(t)_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_{opi} f(t)_{opi}}{T_A^k}, \tag{5}$$

де $f(t)_{opi}$ – надійність ОДП при виконанні однієї i -ої часткової операції.

Ефективна результуюча надійність при ліквідації аварії k -го типу

$$F^k(t)_{эф} = \prod_{i=1}^n f(t)_{opi} = (F^k(t)_{cp})^n. \tag{6}$$

На підставі отриманих в дослідженні даних отримаємо такі графічні інтерпретації розподілу видів надійності по частковим операціям при ліквідації аварійного порушення режиму ЕЕС – зниження частоти, наведені на рис. 2.

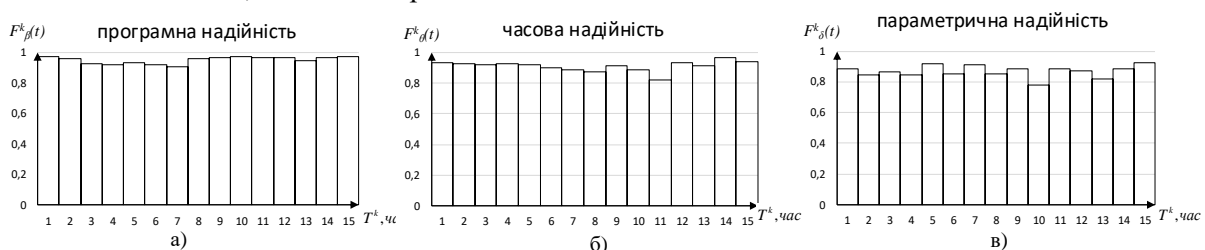


Рис. 2. Розподіл видів надійності по частковим операціям при ліквідації аварійного порушення режиму ЕЕС: а – розподіл програмної надійності; б – розподіл часової надійності; в – розподіл параметричної надійності

Беручи отримані дані в якості вхідних, визначимо ефект підвищення надійності ОДП від використання СППР при ліквідації аварійного порушення режиму ЕЕС – зниження частоти. Для співвіднесення з теоретичними даними інтерпретуємо надійність ОДП як його коефіцієнт готовності (K_g) в конкретні моменти часу [17]. В якості умов, зазначених в [17, 18], приймемо наступний набір значень параметрів, наведених в табл. 2.

Крім того, врахуємо, що при оцінці розглядаються закономірні і випадкові відмови диспетчерів, а в кінці періоду $t_{Аср}^k$ показники надійності диспетчерів знижуються в основному за рахунок випадкових відмов [3]. Оцінка надійності проведена для умов безперервної роботи

однієї і тієї ж зміни ОДП протягом 2 років. В якості проміжний контрольної точки настання аварії обраний період – 1 рік [17].

Таблиця 2

Вихідні умови оцінки підвищення надійності ОДП від використання СППР

Характеристика умови	Позначення	Значення
Середній період настання аварійної ситуації k -ого типу	$t_{\text{Авр}}^k$	24 міс
Інтенсивність забування оперативної одиниці діяльності	λ_0	0,20 міс ⁻¹
Середній час підтримування знань	$T_{0\text{зн}}$	5 міс
Інтенсивність відновлення знань	μ_1	0,5 г ⁻¹
Середній час відновлення знань	$T_{\text{в}}$	2 г
Інтенсивність забування після відновлення	λ_1	0,1 міс ⁻¹
Контрольний термін відліку коефіцієнта готовності	t_c	12 міс
Контрольне значення коефіцієнта готовності ОДП за 1 рік	K_T	0,68
Шкала рівня підготовки ОДП	θ	0 – 10
Шкала рівня складності завдання - ліквідації аварії	β	0 – 10

З огляду на те, що функція надійності ОДП з урахуванням стомлюваності, підпорядковується експоненціальному закону, використовуємо дані та методику обробки експериментальних результатів хронометражу і випробувань ОДП з [10, 19]. В якості базисного підходу використана теорія – Item Response Theory (IRT), призначена для оцінки латентних параметрів випробовуваних за допомогою застосування математико-статистичних моделей вимірювання [20]. Застосовані логістичні функції – Item Response Function (IRF) – $P(\theta)$ і $P(\beta)$, які реалізують однопараметричну модель Г.Раша і оцінюють співвідношення між складністю завдання, і рівнем його підготовки [20, 21]

$$P_j(\theta) = \frac{e^{1.7(\theta - \beta_j)}}{1 + e^{1.7(\theta - \beta_j)}}, \quad (7)$$

$$P_i(\beta) = \frac{e^{1.7(\theta_i - \beta)}}{1 + e^{1.7(\theta_i - \beta)}}, \quad (8)$$

$$\beta_j = \ln \frac{q_j}{p_j}, \quad \theta_i = \ln \frac{p_i}{q_i}. \quad (9)$$

Результати випробувань ОДП і обробки даних для прийнятих умов наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Параметри функції надійності ОДП з використанням СППР в контрольній точці часового періоду

Параметри	Без СППР		З СППР	
	без стомлення	з втомою	без стомлення	з втомою
R	0,65492	0,45012	0,99399	0,82214
λ	-0,42324	-0,79824	-0,00603	-0,19584

На основі параметрів функції надійності $R(t)$ ОДП знайдемо розподіл її значень за досліджуваний період – 2 роки. Побудуємо графічну інтерпретацію розподілу функції надійності ОДП, яка приведена на рис. 3.

Величина коефіцієнта готовності $K_T(t)$ оцінювалася згідно [17]

$$K_T(t) = \left(1 + \frac{\lambda_0 \mu_1}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\mu_1 - \lambda_0)} \right) e^{-\lambda_0 t} + \frac{\lambda_0 \mu_1}{(\lambda_0 - \lambda_1)(\mu_1 - \lambda_0)} e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_0 \mu_1}{(\lambda_0 - \mu_1)(\lambda_1 - \mu_1)} e^{-\mu_1 t}. \quad (10)$$

Для періоду 1 рік отримаємо $K_T(t) = 0,68$; а для періоду 2 роки – $K_T(t) = 0,4624$.

На рис. 3 цифрами позначені наступні графіки:

- 1 – функція надійності для випадку «без СППР, без втоми»;
- 2 – функція надійності для випадку «без СППР, з втомою»;
- 3 – функція надійності для випадку «з СППР, без втоми»;
- 4 – функція надійності для випадку «з СППР, з втомою».

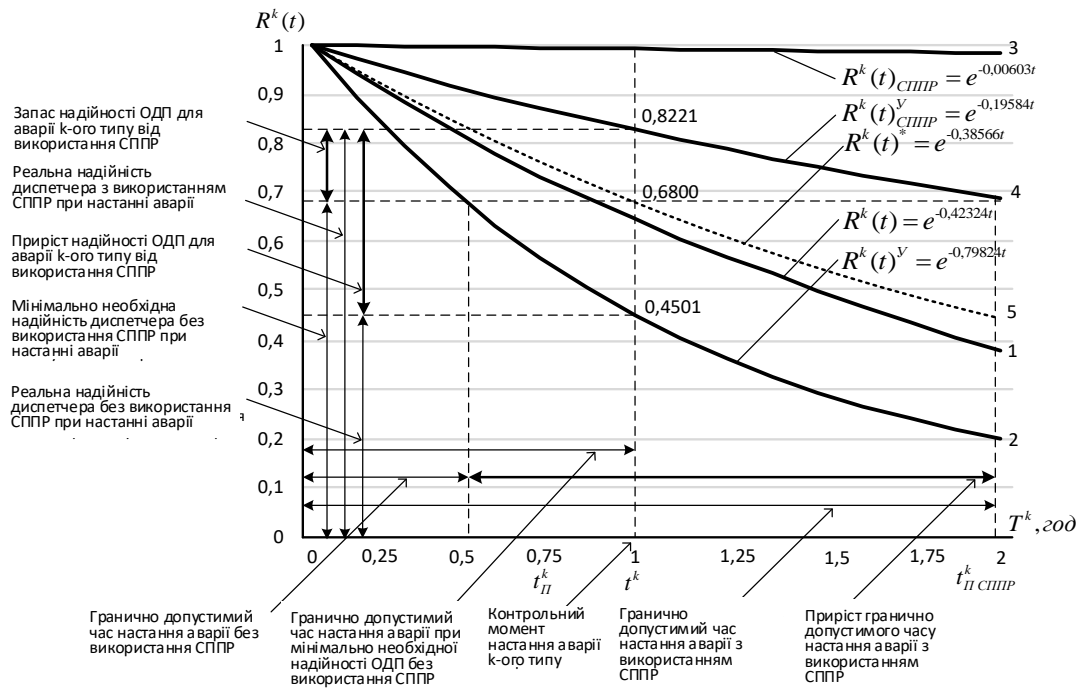


Рис. 3. Графічна інтерпретація розподілу функцій надійності ОДП для оцінки ефективності використання СППР

Як видно з наведених графіків, для контрольного терміну тестування – 12 міс коефіцієнт готовності оперативного персоналу складає 0,6800. Практичні результати тестування ОДП дають результат – 0,6549 (без використання СППР і без втоми, тобто, – без урахування випадкових відмов). При урахуванні чинника втоми (додатковому урахуванні впливу випадкових відмов ОДП) без використання СППР надійність становить – 0,4501. Застосування СППР при ліквідації аварії підвищує надійність ОДП. У випадку з СППР без урахування стомлення результуюча надійність складе – 0,9940. При урахуванні втоми (випадкових відмов ОДП) результуюча надійність дорівнює – 0,8221.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, використання СППР забезпечує запас надійності ОДП при ліквідації аварії, який виражається як різниця між контрольним значенням коефіцієнта надійності і практичним значенням надійності з використанням СППР з урахуванням втоми. Для періоду – 12 міс запас надійності становить: 0,8221 - 0,68=0,1421. При збільшенні періоду безперервної роботи ОДП запас надійності зростає. Практичний приріст надійності ОДП від використання СППР при ліквідації аварії k-ого типу виражається як різниця між надійністю ОДП з урахуванням втоми без використання СППР і надійністю ОДП з урахуванням втоми з використанням СППР і становить: 0,8221 - 0,4501 = 0,3720 (тобто, підвищується на 37,2%). Причому, при настанні аварійної ситуації через 2 роки безперервної роботи ОДП використання СППР дає ще більший ефект і приріст надійності, рівний: 0,675916 - 0,20260 = 0,473316 (47,3%).

Крім цього, ефект використання СППР при ліквідації аварії може бути оцінений як приріст додаткового часу безперервної експлуатації ОДП при надійній ліквідації аварійної ситуації. При цьому необхідним рівнем надійності будемо вважати контрольний коефіцієнт готовності – 0,6800. З графіка видно, що гранично допустимий час безперервної експлуатації ОДП до настання аварії без використання СППР складає близько 0,5 року (6 міс). Контрольний час (при забезпеченні мінімально необхідної надійності ОДП – 0,6800) для цих же умов становить – 1 рік (12 міс). При використанні СППР гранично допустимий час безперервної експлуатації ОДП до настання аварії при її надійній ліквідації становить близько 2 років (24 міс). Таким чином застосування СППР забезпечує наступний приріст гранично допустимого часу безперервної експлуатації ОДП при надійній ліквідації аварії: 2 - 0,5 = 1,5 року (18 міс).

Напрямок подальших досліджень полягає в удосконаленні моделей врахування впливу використання програмних засобів автоматизації прийняття рішень і моделей надійності при втомі оперативного персоналу енергосистем.

Список літератури

1. **Будовский В.П.** Методология оценки риска диспетчерского управления в условиях дефицита мощности энергосистемы : дис. ... д-ра техн. наук : 05.14.02 / Будовский Валерий Павлович; [место защиты: Сев.-Кавказ. гос. техн. ун-т] – Ставрополь, 2011. – 274 с.
2. **Єна Т.А., Кальниш В.В., Кудієвський Я.В.** Гігієнічна і психофізіологічна оцінка професійної діяльності диспетчерів енергосистем при аварійній ситуації // Т.А. Єна, В.В. Кальниш, Я.В. Кудієвський – Київ: Український журнал з проблем медицини праці – №1(17) – 2009 – С. 42 – 48
3. **Меркурьев Г.В.** Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами: учебное пособие. - СПб.: Центр подготовки кадров энергетики (ЦПКЭ) – 2002 – 117 с.
4. **Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.** Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев – М.: «Наука». Глав. ред. физ.-мат. лит. – 1965 – 524 с.
5. **Єна Т.А.** Професійно важливі якості диспетчерів енергосистем // Т.А. Єна – Київ: Український журнал з проблем медицини праці – №4(24) – 2010 – С. 11 – 20
6. **Лавров Е.А., Пасько Н.Б.** Подход к формализованному описанию дискретной деятельности в системах "человек-техника-среда" / Е.А. Лавров, Н.Б. Пасько // Вісник Сумського державного університету. Сер.: Технічні науки № 3 – 2012 – С. 55 – 67.
7. **Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г.** Диспетчерское и технологическое управление: / Ю.В. Мясоедов, Л.А. Мясоедова, И.Г. Подгурская – АмГУ: Благовещенск. Изд-во Амур. гос. ун-та – 2014 – 94 с.
8. **Бобко Н.А.** Влияние утомления на функционирование сердечно-сосудистой системы операторов умственного труда при двухдневном чередовании 12-часовых смен // Бобко Н.А. – Київ: Український журнал з проблем медицини праці – №3-4 – 2005 – С. 24 – 28.
9. **Бобко Н.А.** Динамика рабочей нагрузки и ее отражение в показателях функционального состояния диспетчеров электросетей // Бобко Н.А. – Київ: Український журнал з проблем медицини праці – №2(22) – 2010 – С. 55 – 62.
10. **Єна Т.А., Кальниш В.В.** Психофізіологічні кореляти професійної діяльності диспетчерів енергосистем // Т.А. Єна, В.В. Кальниш – Київ: Український журнал з проблем медицини праці – №3(19) – 2009 – С. 41 – 45.
11. Инструкция ОДС-8 по предупреждению и ликвидации технологических нарушений в электрической части электростанций, подстанций и электрических сетей – Кировоград: «Кировоградоблэнерго» – 2015 – 32 с.
12. **Гальперин М.И., Зараковский Г.М.** Операционно-психофизиологический метод априорной оценки загрузки оператора / М.И. Гальперин, Г.М. Зараковский – Проблемы инженерной психологии и эргономики – Вып. 2. М.: ВНИИТЭ – 1974 – С. 38—40.
13. **Губинский А.И., Кобзев В.В.** Оценка надежности деятельности человека- оператора в системах управления – М.: «Машиностроение» – 1974 – 52 с.
14. **Душков Б.А., Ломов Б.Ф.** Основы инженерной психологии / Б.А. Душков и др.; под ред. Б. Ф. Ломова – М.: Высшая школа – 1977 – 335 с.
15. **Цибулевский И.Е.** Ошибочные реакции человека-оператора в системе управления (обзор зарубежных исследований) // И.Е. Цибулевский – Автомат. и телемех. – №6 – 1977 – С. 112 – 144.
16. **Шибанов Г.П.** Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника – М.: Машиностроение – 1983 – 263 с.
17. **Гасов В.М.** и др. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ. В 7 кн. Кн. 7. Системное проектирование взаимодействия человека с техническими средствами: Практ. пособие / В.М. Гасов, А.В. Меньков, Л.А. Соломонов, А.В. Шигин; Под ред. В.Н.Четверикова – М.: Высш. шк. –1991 – 142 с.
18. **Галактионов А.И.** Представление информации оператору (исследование деятельности человека-оператора производственных процессов) / А.И. Галактионов – М.: Энергия – 1969 – 132 с.
19. **Кулик С.Д.** Метод последовательного анализа для тестирования человека-оператора // С.Д. Кулик – Прикладная информатика – Vol.10 – No.3(57) – 2015 – С. 100 – 108.
20. **Чельшкова М.Б.** Теория и практика конструирования педагогических тестов: Учебное пособие / М.Б. Чельшкова – М.: Логос – 2002 – 432 с.
21. **Frank B. Baker, Seock-Ho Kim** Item Response Theory: Parameter Estimation Techniques, Second Edition (Statistics: A Series of Textbooks and Monographs) – CRC Press 2nd Edition, Kindle Edition – 2004 – 528 p.

Рукопис подано до редакції 12.10.2020

УДК 37:004.588; 004.85

Н. Х. САЙТГАРЕЄВ, доц., Н. Н. ШАПОВАЛОВА,
О. Г. РИБАЛЬЧЕНКО, І. О. ДОЦЕНКО, старші викладачі, С. В. БЛАШЕНКО, асист.
Криворізький національний університет

МОДЕЛЬ ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗНАНЬ У СИСТЕМАХ АДАПТИВНОГО ТЕСТУВАННЯ

Мета роботи – розробити і теоретично обґрунтувати ефективність застосування системи контролю знань на основі технології адаптивного тестування, яка поєднує в собі специфіку професійно-педагогічної діяльності та моніторингу якості навчання і можливість самоконтролю студентів, розробити комплекс тестових завдань з дисципліни «Системи штучного інтелекту».

Методи дослідження. У роботі використано наступні методи дослідження: аналіз джерел з досліджуваної теми, методи визначення психологічного типу людини, методи теорії штучного інтелекту для індивідуалізації контролю знань, моделювання процесу навчання алгоритмів класифікації, формалізація побудованих моделей, методи проектування програмного забезпечення для розробки програмної моделі, емпіричні методи обґрунтування оптимальних параметрів навчання моделі, методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування.

Наукова новизна полягає в тому, що розроблена модель дозволяє на початковому етапі оцінювання якості знань студентів враховувати психотип особистості, підбирати форму подання інформації і завдань згідно особливостей сприйняття і рівню засвоєного матеріалу. Модель адаптивного контролю має достатньо високу здатність до узагальнення і може використовуватись для проведення тестування з різних галузей знань при наявності бази питань та завдань у відповідній формі. На основі розробленої моделі створено програмний модуль, який дає змогу проаналізувати ступінь засвоєності навчального матеріалу у студентів з різним рівнем підготовки і знань.

Практична значимість виконаної роботи полягає в тому, що розроблено комплекс різних за рівнем складності тестів з дисципліни «Системи штучного інтелекту» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення». Комплекс тестових завдань може бути використаний для визначення якості знань із різних дисциплін циклу професійної підготовки, що передбачають опанування технологій штучного інтелекту; розроблене програмне забезпечення можливо використовувати як засіб інформаційно-комунікаційних технологій в процесі навчання будь-яких дисциплін.

Результати. Запропоновано особистісно-орієнтований підхід до розробки тестових завдань, розроблено універсальну систему адаптивного контролю якості знань, а також складено комплекс предметно-орієнтованих тестових завдань різного рівня складності для поточного та модульного контролю з дисципліни «Системи штучного інтелекту» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення».

Ключові слова: Адаптивне тестування, машинне навчання, психологічні типи особистості.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-52-57

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. У сучасному освітньому просторі функціонує багато форм, способів та методів контролю знань, вмінь і навичок студентів. Від правильної організації контролю знань залежить ефективність як системи навчально-виховного процесу, так і якість підготовки фахівця.

Адаптивне тестування – це технологія визначення рівня знань студентів, в якій кожне наступне питання підбирається автоматично, виходячи з отриманих відповідей на попередні питання і визначеного заздалегідь рівня складності. Головною відмінністю адаптивного тестування від класичних тестів є динамічне (в реальному часі), а не статичне визначення переліку питань. При цьому вибір чергового питання визначається персональними особливостями кожного окремого студента.

Застосування системи адаптивного контролю знань дає можливість вирішувати низку актуальних завдань таких, як створення предметних комплексів тестових завдань; створення засобів індивідуалізованої діагностики рівня знань і ступеню засвоєності матеріалу; формування наочного представлення і інтерпретація результатів тестування.

Особливістю застосування адаптивних технологій в освіті є те, що контроль якості знань відбувається постійно в процесі навчання дисципліни, а не лише під час модульного або сесійного контролю. Цей факт дає можливість викладачу мати оперативну і об'єктивну інформацію про якість засвоєння матеріалу, правильне його розуміння, про самостійну роботу студентів тощо. Таким чином, адаптивні системи навчання, зокрема адаптивне тестування, дають можливість оптимізувати процес навчання.

Мета дослідження полягає у тому, щоб теоретично обґрунтувати, розробити та експериментально перевірити систему адаптивного тестування з дисципліни «Системи штучного інтелекту» у фаховій підготовці здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення».

Аналіз досліджень і публікацій. Система контролю навчальних досягнень студентів, яка є важливим компонентом будь-якої форми навчання, наразі потребує оновлення та розвитку таких засобів контролю знань, що забезпечують виконання вимог об'єктивності, зіставності, прогностичності результатів оцінювання та мають чіткі критерії процедур оцінювання.

Організація навчального процесу нині характеризується широким застосуванням інформаційно-комунікаційних технологій, насамперед, впровадженням тестування з використанням комп'ютерної техніки. З питань комп'ютерного тестування для визначення рівня знань студентів проведено багато досліджень, створені програмні засоби для генерації та перевірки тестів. Безумовно, системи автоматизованого тестування забезпечують підвищення ефективності навчального процесу і є економічно вигідними, але відсутність індивідуального підходу до студентів із урахуванням їх особистісних характеристик суттєво знижують об'єктивність, зіставність та прогностичність результатів оцінювання [1].

Як зазначає М. Мазорчук, традиційні системи автоматизованого тестування мають суттєвий недолік: кожне наступне завдання тесту генерується випадковим вибором з усієї множини завдань конкретної теми [2]. При такому алгоритмі нерідкі ситуації, коли студенту з низьким рівнем знань пропонуються складні завдання, результатом цього стане майже повна відсутність відповідей. Полярною ситуацією стане така, коли студенту з високим рівнем знань будуть запропоновані легкі тести. Тобто, для забезпечення об'єктивності та зіставності результатів середня складність тестового завдання має відповідати прогнозованому рівню підготовки студента. Такий підбір завдань можна здійснити за допомогою адаптивного тестування.

За визначенням О. Малигіна, адаптивне тестування – це науково обґрунтований метод контролю рівня знань студентів, який реалізується за допомогою автоматизованих процесів генерації, пред'явлення та оцінювання результатів виконання адаптивних тестів. Кожне наступне питання тесту підбирається автоматично, виходячи з отриманих відповідей на попередні питання і визначеного заздалегідь рівня складності [3]. Адаптивне тестування робить процедури контролю знань ефективнішими за рахунок індивідуального підходу та пропонування студентіві завдань, що відповідають його рівню підготовки.

Науковою базою адаптивного тестування є сучасна теорія тестів – Items Response Theory (IRT). Головна ідея IRT – це обґрунтування можливості ефективного прогнозування результатів тестування на завданнях різного рівня складності, що є необхідною вимогою для систем адаптивного тестового контролю [4]. Прогноз ґрунтується на наступних твердженнях: існують латентні параметри особистості, які недосяжні для безпосереднього спостереження. У тестуванні це рівень підготовки випробуваної особи та рівень складності завдання; існують індикаторні змінні, що пов'язані з латентними параметрами, доступні для безпосереднього спостереження.

Постановка завдання. Проектування системи адаптивного контролю знань має складатися з реалізації трьох модулів, що відповідають цілям розроблювальної системи і постійно взаємодіють в процесі використання системи: збір даних; підбір контенту; персоналізація.

Модуль збору даних складатиметься з первинного (вхідного) тестування і збереження результатів тестування з дисципліни. На цьому етапі відбувається формування образу студента на основі його психотипу, типу каналу сприйняття інформації (візуал, аудіал, кінестет, дигітал), а також накопичення відомостей про знання студента, про ступінь засвоєння тих чи інших понять.

В залежності від паттернів поведінки студента в системі, його особливостей, реакції на зміни в рівнях складності підібраних завдань, інформація про образ користувача узагальнюється і формується контент за певними типами. Так, це можуть бути схеми, графіки, частини програмного коду, об'єкти доповненої реальності тощо [5]. В основі реалізації модуля підбору контенту лежить завдання визначення оптимальних параметрів відповідності типу представлення інформації образу студента за допомогою реалізації алгоритму машинного навчання, який моделює процес типової задачі навчання за прецедентами.

Модуль персоналізації включатиме в себе диференціацію завдань за рівнем складності, відображення прогресу успішності кожного студента, прогнозу тестування виходячи з кількості спроб пройти тест і середнього результату, досягнутого за час всіх спроб.

Викладення матеріалу та результати. Для реалізації алгоритму адаптивного тестування в даній роботі використовується однопараметрична модель IRT Дж. Раша. Модель відображає вірогідність успіху випробуваного як функцію одного параметра – різниці рівня підготовки випробуваного і рівня складності завдання.

У своїх дослідженнях В. Аванесов відзначив, що тестові питання, крім того, що повинні відрізнятися за рівнем складності, мають відповідати наступним вимогам: стислість; технологічність; правильність форми; правильність змісту; логічна форма висловлювання; однаковість правил оцінки відповідей [6], і можуть бути представлені у різних типах: закриті (багатоальтернативні і одноальтернативні), відкриті, на встановлення відповідності між елементами, на встановлення правильної послідовності, ситуаційні тестові завдання [7].

Формально модель оцінювання результатів адаптивного тестування можна представити у вигляді диференційного рівняння [4]. Респонденту необхідно виконати N тестових завдань рівня складності $d_i = [1, D]$, при чому результат виконання тесту T залежить від результатів виконання попередніх завдань і тому неперервно змінюється. Для оцінки знань використовується неперервна шкала оцінювання в діапазоні $[0, 1]$, а оцінка за виконання кожного завдання тесту вимірюється коефіцієнтом $t_i \in [0, 1]$. При цьому доцільно ввести коефіцієнт B перерахунку результатів тестування у довільну систему балів. Так, найнижча оцінка дорівнюватиме 1, а найвища – B балів. Оскільки будь-яка система оцінювання знань, яка базується на виконанні тестів, дає можливість вгадати вірний варіант відповіді, необхідно ввести коефіцієнт вірогідності вгадування $g_i \in [0, 1]$. З урахуванням усіх параметрів, модель оцінювання результатів адаптивного тестування можна подати у вигляді (1).

$$f(N, d_i, t_i, g_i, B)=1. \quad (1)$$

Для кожного з типів тестових завдань коефіцієнт t_i розраховується по-різному. В роботі авторами було запропоновано використовувати закриті одноальтернативні і багатоальтернативні тестові завдання з урахуванням можливості вгадуванням правильною відповіді.

Алгоритм відбору завдань будується за принципом зворотного зв'язку: при правильній відповіді студента чергове завдання вибирається вищого рівня складності, а при невірній відповіді – нижчого рівня, ніж те, на яке студентом була дана невірна відповідь. При першому тестуванні рівень респондента встановлюється $R_0=0$, і перше питання тесту автоматично буде запропоновано з високого рівня складності. В залежності від правильності відповідей на запропоновані питання, рівень підготовленості перераховується.

Так, після виконання чергового тестового завдання наступне підбирається такого рівня складності, який розраховується виходячи з попередньої відповіді.

Не дивлячись на усі переваги, в концепції адаптивного тестування недостатньо реалізовано оцінювання особистісних параметрів випробуваного. Врахування в системі адаптивного навчання рис особи, яку навчають, дозволяє найефективніше досягнути поставленої мети навчання.

В ході дослідження Ю. Кольцов і Н. Добровольська дійшли висновку, що до ядра моделі особи, що навчається, доцільно включити наступні якості і характеристики особистості: тип мислення; форма представлення знань, що найкраще сприймається особою; впевненість при відповіді; рівень засвоєння знань [8].

Індивідуальні особливості – це стабільна характеристика особи, яка не змінюється взагалі або змінюється протягом тривалого періоду часу. Вони визначаються за допомогою спеціально розроблених психологічних тестів. Особи, які навчаються, можуть мати інтуїтивне або теоретико-методологічне мислення, різний рівень тривоги під час відповіді, мотивацію до навчання й особливості процесів запам'ятовування та забування.

Відповідно, для різних категорій осіб можна запропонувати завдання з різними формами представлення знань: аналітичною (аналітичні вирази, математичні моделі, формалізовані описи), образною (схеми, малюнки, відеофрагменти), евристичною (практичні методи, евристичні описи).

У процесі навчання все частіше впроваджуються інноваційні технології, однією з таких є особистісно-орієнтований підхід, котрий полягає в основі багатьох стилів або моделей навчання. Найпопулярнішою моделлю навчання стала ВАК-модель, яка базується на психофізіологічних особливостях сприйняття інформації [9]. Спираючись на цей факт, вирізняють чотири психотипи: аудіали, візуали, кінестети та дигітали (діскрети). ВАК-модель враховує фізіологічні

властивості при виборі найбільш прийняттого способу сприймати інформацію в залежності від психотипів.

З метою обрання методики визначення психотипу студента за сприйняттям інформації було розглянуто низку психологічних тестів: тест на визначення психотипу та схильності до роботи в групах або індивідуально [10]; діагностика домінуючої перцептивної модальності С. Єфремцева [11]; тест на визначення певного інтегрального показника загальних здібностей В. Бузіна, Е. Вандерліка; методика «Реєстр стилю інформаційного засвоєння» А. Грегоса (виявлення пріоритетних способів збору інформації) [12].

Для даної роботи був обраний тест «Діагностика домінуючої перцептивної модальності С. Єфремцева», як такий, що максимально відповідає наступним критеріям: вік опитуємих, призначення, кількість питань. Інформація, зібрана на початковому етапі роботи системи акумулюється у модулі збору даних.

Розроблювальна система адаптивного контролю знань складається з трьох модулів, які постійно взаємодіють в процесі роботи системи: збір даних; підбір контенту; персоналізація.

Для реалізації модулів підбору контенту і персоналізації необхідно вирішити задачу класифікації образу кожного користувача, щоб обрати саме той рівень складності наступного тестового завдання, який відповідає рівню знань і типу сприйняття певного студента. Для вирішення цього завдання будемо використовувати методи машинного навчання (МН). МН – це достатньо великий підрозділ штучного інтелекту, що вивчає методи побудови алгоритмів, здатних навчатися.

Досліджувана задача відноситься до класу задач навчання за прецедентами (supervised learning). Процес розробки певної моделі МН складається з наступних етапів: процес підготовки (представлення) даних; процес конструювання алгоритму; процес тренування алгоритму на наявних даних; процес валідації алгоритму на тестових даних.

На етапі представлення визначаються правила кодування елементів і формування конструкцій даних [13]. В якості об'єктів навчання виступають вектори, які формуються з ознак, представлених у числовій формі. Будемо використовувати наступні ознаки: психотип випробуваної особи; форма представлення інформації; рівень прогресу випробуваної особи.

Ознака «психотип випробуваної особи» належить до номінального типу (ознаки з неупорядкованими станами) і може приймати значення одного з визначених психологічних типів особи: візуал, аудіал, кінестет, дигітал. Поставимо кожному типу ознаки у відповідність числове значення: 1 – візуал; 2 – аудіал; 3 – кінестет; 4 – дигітал.

Ознака «форма представлення інформації» також є номінальною, і в числовій формі приймає наступні значення: 1 – аналітична; 2 – образна; 3 – евристична; 4 – аудіальна.

Ознака «рівень прогресу» відображує динаміку показника якості знань на момент класифікації і розраховується як темп приросту коефіцієнта оцінки за кожне питання у тесті. Оскільки ознака «рівень прогресу» порядкового типу, необхідно дійсним значенням показника темпу приросту поставити у відповідність впорядковані цілі числа, які можна порівнювати один з одним, але відстань між ними не визначена. При від'ємному значенні темпу приросту ознака «рівень прогресу» приймається за 1, при нульовому – 2, при додатному – 3.

В якості класів виступає рівень складності наступного завдання. Зазначена ознака є ціловою, тобто саме її значення необхідно прогнозувати, за типом – порядкова, і приймає значення: 1 – легкий рівень; 2 – середній; 3 – складний.

Поставлена задача класифікації може бути розв'язана багатьма методами МН, зокрема Баєсівським класифікатором, деревом рішень, алгоритмічною композицією дерев рішень, штучною нейронною мережею тощо [14].

На сьогоднішній день найефективнішим класифікатором є метод машинного навчання – градієнтний бустінг, що належить до класу композиційних методів. Бустінг – це спосіб створення композицій з дерев рішень, в рамках якого базові алгоритми будуються послідовно, один за одним і кожен наступний алгоритм підбирається таким чином, щоб виправляти помилки вже побудованої композиції. На етапі конструювання алгоритму побудовано класифікатор за допомогою вільно розповсюджуваних бібліотеки машинного навчання мови програмування Python – scikit-learn.

Для розроблювального програмного забезпечення було обрано клієнт-серверну архітектуру, у якій клієнт і сервер взаємодіють через протокол HTTP. Програмне забезпечення адаптив-

ного тестування розроблене з урахуванням архітектурного стилю REST, який визначає обмеження на використання HTTP, і описує якісно розроблений веб-застосунок: надійний, правильно працюючий, масштабований, з простим елегантним дизайном, що може бути легко змінений [15].

В процесі розробки веб-застосунку авторами було використано концепцію відокремлення логічних розділів коду, що сприяє більш високій згуртованості як у первинній розробці, так і в постійній підтримці будь-якої системи. Чітке розмежування між клієнтськими та серверними рівнями робить легко керованими модульні розділи коду. Способом розробки програмного забезпечення було обрано схему відокремлення даних застосунку, інтерфейсу користувача і керуючої логіки – MVC (Model – View – Controller).

Розроблено базу різнорівневих за складністю тестових питань з дисципліни «Системи штучного інтелекту», що викладається впродовж 7–8 семестрів бакалаврам зі спеціальності 121 – «Інженерія програмного забезпечення». Дисципліна складається з 5 змістових модулів і 19 тематичних тестів. Кожен тест містить від 5 до 8 питань двох типів: з однією вірною відповіддю (одноальтернативні питання) і декількома вірними відповідями (багатоальтернативні).

Розроблено веб-орієнтоване програмне забезпечення AdaptEd з адаптивним інтерфейсом, що дає змогу застосовувати тестування з дисципліни безпосередньо під час лекційних занять на мобільних пристроях студентів. Система AdaptEd надає можливість створювати інтерактивні курси дисциплін завдяки тому, що викладач може наповнювати систему лекційними матеріалами, додатковими матеріалами, завданнями на лабораторні або практичні роботи, тестовими завданнями тощо.

Висновки та напрямок подальших досліджень. У процесі дослідження проблеми розробки веб-орієнтованого програмного забезпечення системи адаптивного тестування бакалаврів було проаналізовано сучасний стан використання методів комп'ютерного адаптивного тестування, обґрунтовано вибір методів реалізації системи контролю якості знань з урахуванням індивідуальних особливостей студента, розроблено універсальну систему адаптивного контролю якості знань, а також складено комплекс предметно-орієнтованих тестових завдань різного рівня складності для поточного та модульного контролю з дисципліни «Системи штучного інтелекту» для бакалаврів за спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення».

Результати виконаного дослідження дають можливість зробити наступні висновки: адаптивне тестування, засноване на урахуванні індивідуальних показників випробуваного, є ефективним методом контролю знань студентів закладів вищої освіти; реалізація адаптивного тестування знань має виконуватися за умов систематичності контролю, індивідуалізації за типами особистості і рівнем знань; програмне забезпечення, що реалізує систему адаптивного тестування має бути у постійному доступі для випробуваного, тому реалізована модель взаємодії клієнт-сервер; база тестових завдань має налічувати достатню їх кількість за кожним рівнем складності і бути представлена у різній формі представлення інформації.

Результати експериментального використання розробленого програмного забезпечення для адаптивного контролю якості знань студентів з дисципліни «Системи штучного інтелекту» показали, що систему тестування доцільно доповнити завданнями з розгорнутою відповіддю. Крім того, бажано розширити базу тестів завданнями з образною та евристичною формами представлення знань. Зазначені зауваження визначають шляхи подальшого вдосконалення розробленої системи адаптивного контролю якості знань: вивчити методику і розробити механізм оцінювання розгорнутої відповіді за допомогою методів латентно-семантичного аналізу; реалізувати програмний модуль, що забезпечуватиме можливість демонстрації випробуваним завдань з мультимедійним контентом.

Список літератури

1. **Аванесов В. С.** Научные проблемы тестового контроля знаний: монография / В. С. Аванесов. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 1994. – 135 с.
2. **Мазорчук М. С.** Оценка параметров теста на основе модели IRT / М. С. Мазорчук, В. С. Добряк, К. А. Гончарова // Системи обробки інформації. – Харків, 2010. – № 7(88). – С. 121-125.
3. **Мальгин А. А.** Адаптивное тестирование учебных достижений студентов в дистанционном обучении : автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. пед. наук / Мальгин А. А., 2011.
4. **Звонников В. И.** Шкалирование и выравнивание результатов педагогических измерений / В. И. Звонников, Н. Н. Найденова, С. В. Никифоров, Челышкова М. Б. – М.: Логос, 2003. 96 с.

5. **Striuk, A.**: Проектирование учебных объектов дополненной реальности [Electronic resource] / **Андрей Стрюк** // Transactions. Georgian Technical University. Automated control systems. – 2018. – № 2(26). – С. 127-134. – Access mode : https://gtu.ge/Journals/mas/Referat/N26_conf_unesco_2018_2_26.pdf
6. **Аванесов В. С.** Основы теории педагогических измерений / **В. С. Аванесов** // Педагогические измерения. – 2004. – № 1. – С. 15-21.
7. **Бондаренко М. Ф.** Оценивание тестовых заданий разных типов и определение их уровня сложности / **М.Ф. Бондаренко, В. В. Семенец, Н. В. Белоус, И. В. Куцевич, И. А. Белоус** // Штучний інтелект. – 2009. – № 4. – С. 322-329. – Бібліогр.: 7 назв. – рос.2 . http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-12/ibs-12-p07.pdf
8. **Кольцов Ю. В.** Нейросетевые модели в адаптивном компьютерном обучении / **Кольцов Ю. В., Н. Ю. Добровольская** // Educational Technology & Society 5(2), 2002. – С. 213-216.
9. **Wulansari Y.** The Use of Visual Auditory Kinesthetic (VAK) Learning Model to Improve Students' Reading Comprehension: Graduating Paper // Yeni Wulansari. – Salatiga : State Institute for Islamic Studies, 2016. – 178 p.
10. **Фетискин Н. П.** Диагностика доминирующей перцептивной модальности (С. Ефремцева) / **Н. П. Фетискин, В. В. Козлов, Г. М. Мануйлов.** Социально–психологическая диагностика развития личности и малых групп. – М., 2002. – С.237–238. – Режим доступу до ресурсу: <https://psycabi.net/testy/289-test-audial-vizual-kinestetik-diaagnostika-dominiruyushchej-pertseptivnoy-modalnosti-s-efremtseva>
11. **Грегос А. Р.** Методика «Реестр стиля информационного усвоения» [Электронный ресурс] / **А. Р. Грегос.** – Режим доступу до ресурсу: <https://psytests.org/cognitive/gregos.html>
12. **Челомбійко В. Ф.** Використання ілюстративного матеріалу для створення книжкових та електронних мультимедійних видань / **В. Ф. Челомбійко, М. О. Мажуга** // Бионика интеллекта. – 2016. – №1 (86). – С. 112–115.
13. ГОСТ: Организация данных в системах обработки данных. Термины и определения. ГОСТ 20886-85.
14. **Шаповалова Н. Н.** Порівняльний аналіз методів оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання / **Н. Н. Шаповалова, О. Г. Рибальченко, Д. І. Куропятник** // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць / національний університет Криворізький ; М-во освіти і науки України, ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2018. – Вип. 46. – С. 104 – 112.
15. **Saternos C.** Client-Server Web Apps with JavaScript and Java / Casimir Saternos. – USA: O'Reilly Media, 2014. – 260 с.

Рукопис подано до редакції 05.10.2020

УДК 629.1.072.2

I.V. HIRIN, Senior Lecturer, V.Yu TYSHCHENKO, Research Associate,
Kryvyi Rih National University

COMPARATIVE ANALYSIS OF SAFETY DESIGN FOR ELECTRIC VEHICLE AND INTERNAL COMBUSTION ENGINE CARS

Purpose. A comprehensive study of the current safety design of electric vehicles (EVs), identifying the problems to be addressed for the development of the national electric mobility market infrastructure and the competition with conventional internal combustion engine cars (ICE) in Ukraine.

Research methods. Synthesis and analysis of the published theoretical developments using world statistical indicators on electric vehicles, analytical calculations, and statistical analysis. The methodology of theoretical research is based on the logical and mathematical methods. A number of particular methods are as follows: axiomatic and hypothetical methods, analysis and synthesis, interpretation method. An integrated approach including synthesis and analysis of literature review and research on automobile transport.

Scientific novelty. The analytical assessment of the safety design of up-to-date electric vehicles and the identification of the key directions and technical capabilities to further enforce of active, passive, post-accident and environmental safety of electric vehicles.

Practical significance. The main design criteria result in reduced road traffic fatality rates thanks to a number of electric vehicles on the road. The high dependence of the whole EV safety design on individual parts and units of the EVs has a direct impact on improving road safety.

Results. A comparative analysis of the technological components of active, passive, post-accident and environmental safety of electric vehicles and conventional cars. Test results of EVs compared to ICE cars are summarized. An assessment of fire risks of vehicles equipped with electric batteries of different types. The constructive solutions of modern mass-produced electric vehicles, which pose the greatest threat to road safety, are noted. Further research priorities for improvement of electric vehicle safety design are identified.

Key words: electric vehicle, safety design, electric vehicle battery, crash tests of electric vehicles.

doi:10.31721/2306-5451-2020-1-51-57-62

Problem statement. Although the popularity of the electric cars are growing at an incredible rate in the modern world of high technology every year, their development has problems and controversial issues. It is obvious that an electric vehicle (EV) and a conventional internal combustion engine (ICE)

vehicle cannot yet be compared. However, the electromobile industry is strongly supported. In some countries, the Government gives tax reliefs to EV users like tax free parking and permission to drive into city “no-go areas”. Other countries encourage car manufacturers to reduce vehicular emissions. Big car manufacturers and technology companies supported by state plan to expand and improve their products.

The electromobile industry is rapidly commercializing even without stimulation factors. In 2018, electric cars and hybrids were sold up 791130 units more than in 2017, thus sales growth amounted to 64%. According to Insideevs.com, more than 2 million units of new Plug-In Hybrid Electric Vehicles (PHEV) were sold worldwide in 2018.

In view of the current energy carriers, the State government is primarily interested in a wide range of e-mobility application resulting in energy independence, higher environmental well-being and economic benefit of Ukraine. Electric cars would benefit both the state authorities and users.

Analysis of the recent research and publications. The efficient and safe use of road transport, the influence of usage conditions on the technical and operational performance of motor vehicles and the problem of road safety are reflected in the works Avdonkin F.N., Arinin A.N., Afanasiev J.L., Babkov V.F., Bezborodko M.B., Boldin A.P., Velikanov D.L., Vlasov V.M., Ginzburg L.L., Govoruschenko H., Zyrianov V.V., Ivanov A.M., Ilarionov V.A., Indikt E.A., Karagodin V.I., Klinkovstein G.L., Knoroz V.A., Konoplyanko V.I., Korchagin V.A., Kramarenko T.V., Kuznetsov E.S., Lakhno R.P., Litvinov A.S., Lukanin V.N., Maksimov V.A., Mirotin L.B., Miroschnikov L.B., Moroz S.M., Narbut A.N., Nefedov A.F., Ostrovtssev A.N., Platonov V.F., Reznik L.G., Rotenberg R.V., Ryabchinsky A.I., Silyanov V.V., Tokarev A.A., Tolsky V.E., Trofimenko Y.V., Farabin E.E., Khachaturov A.A., Chudakov E.A., Sheinin A.M., Yurkovsky I.M., Yurchevsky A.A., James Migletz, Thomas Hedblom, Ludwig Eigenmann, etc..

The comprehensive and in-depth academic studies on road safety of electric cars are mostly underrepresented. Moreover, recommendations on how to ensure real safety of electric vehicles are not formulated in most works. An analysis of the earlier published papers and regulatory documents (national and foreign) showed that they provide only recommendations on improving individual units and systems of the EVs and cannot be used as a quantitative technical and economic impact of electric vehicle design safety on crashes.

Objectives of the article. Ukraine has put forwards significant developing the e-mobility. Marketing agency IRS Group has published the latest statistics of the electromobile market in Ukraine for May 2019, whose EV sales reached 1419 items, which is 31% more than a month before. Processing the May figures, the number of electric motor vehicles to date reaches 25 175, of which 13 287 EVs and 11 884 hybrids of all modifications. Nissan Leaf holds the leading positions in the Ukrainian market. However, according to May statistics BMW i3 (+ 1%) and Toyota RAV 4 (+ 1%) sales also increased. The development of electricity infrastructure and the abolition of import duties enabled electric vehicles to become cheaper at an average rate of 10%. Most electric vehicles are purchased in Kyiv and regional cities around the Ukraine.

The importance of new generation of electric vehicles naturally raises concerns over safety on roads. Accordingly, the following research objectives were formulated:

- to review and analyze the safety design of EVs and explore a sustainable trend towards higher highway safety levels;

- to review and systematize the design concepts of structural systems, units and spare components of EVs, which radically increase road safety;

- to develop methods for the safe integration of EVs in the smart transport environment.

Presentation of the main research and results. There are five ambiguous statements concerning the safety of electric vehicle.

1. The safety design of electric vehicle is low.

For several years, electric cars and gasoline cars have been passed the similar crash tests - EuroNCAP tests in Europe and IIHS test in the US. The EVs like ICEs differ in results. Their general safety design is high, the airbags deploy during a crash, the crash sensors disconnect the batteries and stop the car. The airbags are intended to reduce serious injuries of a driver and occupants of the electric vehicle, as well as the occupants of the other collided vehicle.

For example, the results of the North American electric vehicle crash test in 2011 are given below. The Chevrolet Volt and Nissan Leaf earned a five-star rating in safety during frontal and side

crashes when hitting behind, and during a crash simulation when a car overturns. The Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) tested two electric vehicles, BMW i3 and Tesla Model S. Both models performed well, although they did not get the highest rating of Top Safety Pick +. In order to get the highest rating, it is necessary to show superior results in all tests. The electric car BMW i3 was rated Good almost in all crash tests. However, its head rests were rated Acceptable. IIHS experts praise the preventive braking system of the BMW i3.

The Tesla Model S electric car also achieved Good in most tests. However, a seat belt did not properly protect the driver dummy's head from hitting the steering wheel hard through the airbag in small overlap frontal crashes.

It should be noted that the design of the electric car makes it more secure in case of a collision. Lithium battery is located within the wheelbase under the bottom of the car. Thus, compared to a gasoline car, the center of gravity of the EV is placed lower. Consequently, it is much more difficult for the EV to turn over in an accidental collision.

As the EV is not equipped with a large fuel tank, the Tesla Motors experts offer to make longer deformation zones to absorb high-speed shock energy.

2. Traction Inverter for electric and hybrid vehicles can be very quiet at low speed, making them difficult for pedestrians to detect, that causes a car-pedestrian crash.

In fact, this problem could be greatly eased through the following technical solutions. The National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) of the United States has adopted a new standard for electric and hybrid vehicles. Since September 2019, existing electric or hybrid vehicles are gradually to be retrofitted with sound devices to indicate their presence on roads for the blind and partially sighted people. According to the new standard, all EVs/HEVs with a full weight of up to 4.5 tons (excluding passenger and cargo weight) have to be sounded. The acoustic signal is to be activated if such a vehicle reverses or moves forward at a speed less than 30 km per hour. According to NHTSA, at speeds above 30 km per hour, an acoustic signal giving blind pedestrians information about the presence of a nearby quiet car is not required. The fact is that a fast-moving EV with no special signal makes enough noise to be heard. It is about tire noise and aerodynamic noise.

3. Electric vehicle battery has an increased risk of fire.

Manufacturers have been paying considerable attention to this risk ever since the crashed Chevrolet Volt in the United States in 2011. This is due to the fluid leaking from the battery cooling circuit. However, the National Highway Traffic Safety Commission (NHTSA) later concluded that the Volt model does not have a general tendency for manifest defects, and recent General Motors improvements minimize the risk of fire in the event of side collisions.

Lately, there were two incidents when Tesla cars broke out twice due to a collision with metal debris on the road. Tesla Model S, manufactured since 2012, currently they are about 107,000 cars on the road. In fact, 6 fires occurred resulted from:

10.01.2013 - a bottom hole with metal debris,

10.18.2013 - accident in Mexico,

11.06.2013 - bottom hole with metal debris,

11.15.2013 - a battery charge;

02.11.2014 - a car caught fire in a parking lot in Toronto (the reason was never announced);

01.01.2016 - a case of ignition of an electric car at a fast recharging station in Norway;

And now let us compare Tesla EV with ICE:

There were 6 fires for 107 000 Tesla Model S and 2600 Tesla Roadster, which is 0.0055%.

In 2013, this would mean 27,000 cars and 0.014%.

The data on the ICE vehicles are as follows: - Between 2006 and 2010, on average 152300 vehicle fires occurred every year. At present, there are 250 million vehicles in the United States, which amounts 0.061% of fires every year.

There are also the following statistics. In the US, there were about 219 thousand fires per 254 million vehicles in 2011, which was about 0.085%.

Between 2003-2007, the situation got even worse: 287 thousand fires per approximately 240 million vehicles, which was about 0.12%. Thus 49% of them were caused by vehicle breakdowns, 23% - by electrical problems, 8% - by deliberate action, 3% - by road accidents, and 5% - by other sources of fire.

There is a big difference in above-mentioned Tesla performances in a favour the latter. It should be noted that the ignition statistics are given without taking into account the age of the machine. Since Tesla is not yet 9 years old, it is not quite correct to compare these values. The average age of a vehicle in the US is 11.5, and fires are calculated for all vehicles.

After the two incidents of Tesla cars' fire due to a collision with metal debris, the company provided the titanium-aluminum plates on all Model S to protect the bottom, and at customer requests modified the bottom of the cars already sold.

Thus, we may conclude that ICEs currently have a far higher percentage of auto-ignition than EVs. In addition, the explosion presents an immediate and more significant danger than a flame, hence, the very dangerous automobile is powered by liquefied gas.

4. Electromagnetic radiation exposure to occupants of the vehicles.

Numerous studies conducted by world-leading companies and experts have measured the electromagnetic fields (EMFs) and exposure levels to occupants of the vehicles. Particular attention was paid to the potential risk of cancer, miscarriage and child leukemia. Given the fact that batteries are most often located directly under the driver and passengers, this means that long-term EMF effects are inevitable. The maximum value of this parameter was fixed at the start of the car engine, and the point closest to the pallet where the power source was installed became the limit value. However, even in this case, the registered maximum of the magnetic field was below the limits recommended by the International Commission on Nonionizing Radiation Protection (ICNIRP). Despite the study results, many users of hybrid or electric vehicles are more concerned about the symptoms such as headache, anxiety, suicide and depression, nausea, fatigue and loss of libido, sleep disturbance and concentration caused by the EMF within a vehicle.

The complex of studies, completed by the Norwegian company SINTEF, reported that such fears are completely unfounded, and the fact of a potential risk was raised by mistake or intentionally.

During the road test, seven models of EVs powered by different systems were involved. Hybrid models, equipped with electric, gasoline (diesel) and hydrogen engines, have passed both the laboratory and road testing. Sensors in the dummy on the head, chest and legs showed that the fixed value of EMF at these points is 2% of the normalized recommended value for humans. The findings of a series of studies in six other countries also confirm, that electric cars are absolutely safe for human health, and the magnetic field value created by electrical equipment is less than the recommended value.

5. Electric vehicle batteries are toxic.

To date, the three batteries most commonly used in the road transport industry are as follows: lead-acid batteries, lithium-ion batteries, and supercapacitors. It is obvious that a lithium-ion battery represents a decisive competitive advantage in terms of energy / mass ratio. The theoretical voltage limit of a modern 18650 block is 4.2V, but no battery allows it to be used. When the safe level is lowered, the Lithium plating occurs. Thus, the formation of conductive sections of lithium leads to an internal short circuit and, as a consequence, thermal runaway, (Fig. 1).

This situation is possible when exposed to lower temperatures. When the voltage is exceeded, a

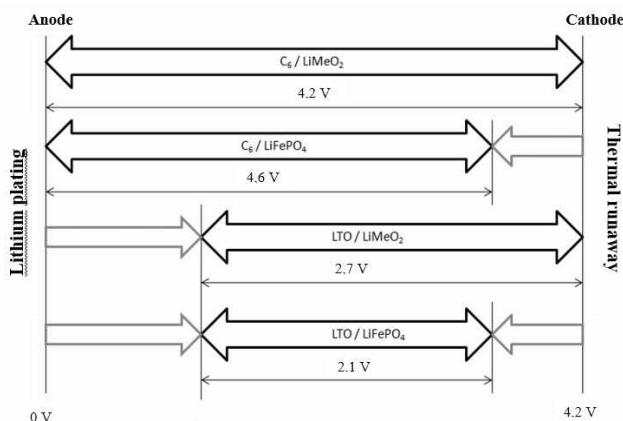


Fig. 1. Lithium plating in various types of batteries (the type of battery indicates the voltage when fully charged)

temperature instability of the cell also leads to its destruction. Thus, there is a need to limit the voltages on the top and bottom because of some variation in the performance production. In this regard batteries with a voltage of 2.1 V with LTO and LiFePO4 electrodes are considered to be the most secure, however security is ensured by reducing the voltage, and therefore paying for energy about twice. In modern lithium-ion batteries, the anode is usually a layer of graphite deposited on a copper foil. During the charge, lithium ions accumulate in the graphite layer. This design was devised for reasons of safety

and durability - the anode of pure lithium metal degrades very quickly, as the charge gradually grows "branches" on its surface, which, reaching the cathode, can cause a short circuit. The use of graphite "sponge" solves this problem, but the energy intensity of graphite anode is about 350 milliamp-hours per gram, while in pure lithium this figure is 11 times higher. A team of Stanford University scientists led by Professor Yi Cui have developed a technology that prevents the formation of lithium "branches" on metal lithium anode and paves the way for reliable, much more capacious batteries. In practice, it can be a three or four-fold increase in capacity.

Currently there is no alternative to lithium-ion batteries (LIBs) for electric vehicles. It is understandable that electric vehicle LIBs must be disposed, while lead-acid batteries for petrol cars are potentially unsafe and environmentally undesirable. In addition, the demand for lithium as the most valuable component of LIBs is now growing rapidly, and the mining industry is not keeping up with this demand. Thus, LIB recycling when these vehicles reach the end of their lives is very important. Additionally, end-of-life LIBs can be used in second-use applications as balancing power in electrical networks, moreover enhance environmental benefits.

It should be added that the European Union is developing common requirements for the safety design of electric vehicles and their use in the Old World. The requirements document all the possible risks associated with the use of electric vehicles and ways to prevent them. In particular, the future regulation should protect drivers and passengers from electric shocks and take into account the impact of noiseless electric vehicles on road traffic safety. According to the European Union statement, 27 EU governments have to protect the EU's 500 million population with the document. The safety design requirements for electric vehicles are expected to be completed within two years.

Conclusions. Despite the shortcomings of EVs, it should be noted that the safety design of EVs is competitive with ICEs and even exceeds in some components. EV constitutes a silent menace to individuals with sight loss due to travelling at low speeds. One of the possible ways to tackle electric cars' silent menace to pedestrians is to equip existing vehicles with sound emitters. Sound device would be used when driving in urban areas with lower limits and automatically based on the movement of the vehicle, and when reversing.

References

1. Лебедева А. С. К вопросу об экологической безопасности на автомобильном транспорте // Лебедева А. С., Табачникова Е. В // - Научное обозрение: теория и практика. – 2014. – № 3. – С. 41–45.
2. Щетина В.А. Электромобиль: техника и экономика. / Щетина В.А., Морговский Ю.Я., Центр Б.И., Богомазов В.А /— Л: Машиностроение, 1987. — 253 с.
3. Жук А.З. Электромобиль на алюминиевом топливе. // -Жук А.З., Клейменов Б.В., Фортвов В.Е., Шейндлин А.Е. //— М: Наука, 2012. — 171 с.
4. Форсаж 7 [Электронный ресурс]: многопредмет. авто. журн. / Киев. – Электрон. журн. – 2016. – Режим доступа: <http://zhurnal.milt.rissi.ru/http://forsage7.com.ua/blog/plusi-i-minusi-elektromobiley/>
5. Эйдинов А.А. Расчетные исследования возможностей тяговых источников тока для электромобилей.-/ Эйдинов А.А., Дижур М.М. // -М.: Труды МАМИ, 1996. -138 с.
6. Германия раздает бонусы на электромобили. — Сайт, посвященный новостям в сфере высоких технологий, а также инноваций в мире интернета, автопромышленности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://innotechnews.com/innovations/910-germaniya-razdaet-bonusy-na-elektromobili>
7. Шуркалов П.С. Инфраструктура зарядных станций для электрических транспортных средств на основе возобновляемых источников энергии / Шуркалов П.С. // Возобновляемые источники энергии: материалы восьмой научной молодежной школы с международным участием – М.: Университетская книга, 2012, с. 465-469
8. Скундин А.М. Современное состояние и перспективы развития исследований литиевых аккумуляторов / А.М. Скундин, О.Н. Ефимов, О.В. Ярмоленко // Успехи химии. – 2002 - №71 (4) С.378.
9. Bolun Xu. Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for Cell Life Assessment/ Bolun Xu. //Article in IEEE Transactions on Smart Grid June 2016
9. G. Ning R. E. White, and B. N. Popov, “A generalized cycle life model of rechargeable li-ion batteries,” *Electrochimica Acta*, vol. 51, no. 10, pp. 2012–2022, 2006.
10. Topolsky D.V. Modelling of components of hybrid and city transportation in shareware soft / D.V. Topolsky, E.V. Solomin, I.G. Topolskaya, N.D. Topolsky // Journal of computational and engineering mathematics, 2015.– Т. 2, № 3 – с. 3–12.
11. Дубасова В.С. Исследования и производство материалов для литийионных аккумуляторов в России и за рубежом / В.С.Дубасова, Л.С., Каневский // Электрохимическая энергетика. 2005. Т.5. - №2. – С.109-119.
12. Каневский Л.С. Деградация литий-ионного аккумулятора и методы борьбы с ней/ Л.С. Каневский В.С.Дубасова // Электрохимия. – 2005. – том 41. №1, с.3-19.
13. P Gorny Monitoring and Health prognosis of Lithium-Ion battery system // Piotr Gorny, Piotr Morz, Tadeusz UHL // 8th European Workshop On Structural Health Monitoring (EWSHM 2016), 5-8 July 2016,
14. Сидоров К.М. Энергетическая и топливная эффективность автомобилей с гибридной силовой установкой. дисс. на соискание канд.техн.наук. Специальность: 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. М. –2010.

15. **Черных И. В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / **И. В. Черных.** // – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
16. **Копылов И.П.** Математическое моделирование электрических машин / **И.П. Копылов** // – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
17. **Ютт В.Е.** Результаты стендовых испытаний унифицированного электромеханического узла трансмиссии транспортного средства с индивидуальным приводом ведущих колес / **В.Е. Ютт, К.М. Сидоров, Д.Б. Лазарев** // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №1. – С.201
18. **Сидоров К.М.** Перспективные системы тягового электрооборудования для транспортных средств/К.М. Сидоров, Т.В. Голубчик, В.Е. Ютт//Вестник МАДИ. -2012. -№1 (28).
19. **Шрейнер Р.Т.** Координатная стратегия управления непосредственными преобразователями частоты с ШИМ для электроприводов переменного тока / **Р.Т. Шрейнер, В.К. Кривовяз, А.И. Калыгин** // Электротехника. – 2003. – №6. – С. 39– 47
20. **Sergey A. Serikov.** Synthesis of Optimal Control of Hybrid Engine Unit. // Journal of Automation and Information Sciences. Begell House, Inc. (USA) '2009, volume 41, issue 3. – Pages 71-81
21. **Карпов В.В.** Разработка методов оценки безопасности маневра автомобиля: дис. канд. техн. наук. 05.22.10,05.05.03. - М.2005. 180 с.
22. **Русakov В.З.** Безопасность автотранспортных средств в эксплуатации: дис. докт. техн. наук.05.22.10. - М.2004. 360 с.
23. **Ахмедов А.А.** Улучшение управляемости и устойчивости автомобиля при движении по неровной дороге методами многокритериальной параметрической оптимизации: дис. канд. техн. наук.05.05.03. - М.2004. - 169 с.
24. **Ходес И.В.** Компьютерная поддержка активной безопасности водителя / **Ходес И.В., Бондаренко М.В.** // - Автомобильная промышленность. 2008. №7. С.20-23.

The editorial board received a manuscript on 01.10.2020

УДК 65.012.122

І.В. ЗАВСЕГДАШНЯ, канд. екон. наук., доц., С.Л. ЦВІРКУН, канд. техн. наук, ст. викл., П.В. БУРНАСОВ, ст. викл., О.Ю. СЕРДЮК, О.О. ЗАВСЕГДАШНЯ, асистенти
Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПРОДУКЦІЇ ВИДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА МІЖ КОНТРАГЕНТАМИ

Мета роботи полягає у розробці оптимізаційної економіко-математичної моделі для планування збуту продукції видобувного підприємства, яка б враховувала не тільки значення цільової функції – умову максимізації обсягів збуту та доходу від основної діяльності, але також враховувала пріоритетність (рівень значимості) контрагентів для добувального підприємства.

Методи дослідження: у роботі використовувався метод теоретичного аналізу в процесі дослідження науково-практичних розробок та підходів до моделювання розподілу продукції виробничих підприємств між споживачами; системний аналіз використовувався для розробки структурно-логічної схеми, що відображає етапи підготовки до прийняття рішення щодо оптимального планування збуту продукції а також формування методики ранжування контрагентів; методи економіко-математичного моделювання використовувались для розробки оптимізаційної моделі розподілу продукції; статистичні методи використовувались для розрахунку фактичного значення параметрів моделі.

Наукова новизна: полягає у тому, що запропонована економіко-математична модель, застосування якої забезпечує оптимізацію процесу розподілу продукції підприємства, враховує рейтинг контрагентів а також ситуативний характер процесу розподілу продукції.

Практична значимість. Робота присвячена розробці оптимізаційної моделі для обґрунтування прийняття рішень при розподілі продукції між контрагентами, в ситуації, коли відбувся недостатній видобуток корисної сировини. Проблемою є прийняття рішення щодо того, хто з контрагентів є більш пріоритетним. В даній роботі запропоновано застосовувати методи експертної оцінки контрагентів продукції, та ранжування їх. Дана модель є релевантною для підприємств, що виробляють однотипну продукцію.

Результати. В результаті роботи було досліджено теоретичні основи планування збуту та розподілу продукції добувального підприємства; сформульовано рекомендації щодо побудови рейтингу контрагентів продукції підприємства; розроблено оптимізаційну модель планування збуту продукції добувального підприємства за різних умов виконання планового обсягу добутку корисних копалин. Розроблену модель було застосовано для умов видобувного підприємства для різних варіантів недовиконання та перевиконання планових показників виробництва. Модель складено на основі базової відкритої інформації за 2017 р. Враховано умову щоквартального планування поставок.

Ключові слова: оптимізаційна економіко-математична модель, експертне оцінювання, збут, недовипуск, гірничо-видобувне підприємство.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-62-69

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Розробка інструментарію для управління процесами збуту промислової продукції є важливим науково-практичним завданням. Від того, наскільки ефективно та виважено здійснюється реалізація продукції добувального підприємства, залежить прибутковість та стабільність подальшої його діяльності.

Кожне видобувне підприємство здійснює збут та реалізацію власної продукції контрагентам-споживачам за укладеними з ними контрактами (договорами), відповідно до планових обсягів добутку корисних копалин. Але, на жаль, у зв'язку з виникненням непередбачуваних виробничих обставин, підприємство не завжди може виконати план та здійснити обсяги добутку корисних копалин в повному обсязі. В даному випадку виникають обставини неможливості виконання деяких укладених із споживачами договорів та надання їм вказаних об'ємів поставок продукції повністю. Але визначення, у відносинах з яким з контрагентів виникнуть недопоставки, – є досить складним питанням, яке потребує обґрунтованого та виваженого рішення.

Зазвичай, користуючись політикою максимізації прибутку, для недопоставок вибирають ті підприємства, в умовах договору з якими вказана порівняно менша ціна, менші штрафні санкції, або ж незначні обсяги поставок. Проте, виходячи тільки з цих позицій не можна зробити правильний вибір та прийняти оптимальне рішення.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання розподілу продукції підприємств (в тому числі видобувних) між споживачами у наукових та навчально-методичних роботах розглядається з різного ракурсу: теоретичні дослідження здебільшого в сфері маркетингу, наприклад як у роботах Варави Л.М., Бабця Є.К., Біловодської О.А., Макаренка В.М., Гладун П.П., Грінченко Т.Д., Москалюка В.Є., Ямкової О.М.; економіко-математичне моделювання розподілу, як в роботах Ковальчука В.А., Ковальчук Т.М., Івашука О.Т., Єжової Л.Ф., Христиановського В.В.; моделювання логістики, як в роботах Окландера М., Тридіда О.М. Темченка О.А., Луценка І.І. та інших. Не зважаючи на безсумнівний науковий та практичний внесок зазначених авторів, слід зазначити, що запропоновані моделі окремо розглядають питання пріоритетності контрагентів та саму економіко-математичну модель розподілу продукції.

Постановка задачі. Мета роботи – обґрунтувати підхід до оптимізації розподілу продукції видобувного підприємства між контрагентами, який ґрунтується на врахуванні пріоритетності контрагентів для підприємства. На основі даного підходу – розробити оптимізаційну економіко-математичну модель.

Для досягнення мети було поставлено та розв'язано наступні завдання:

дослідити наукові та практичні розробки у напрямі планування збуту та реалізації продукції добувального підприємства;

розробити структурно-логічну схему та рекомендації щодо здійснення рейтингової оцінки контрагентів - споживачів продукції підприємства;

розробити оптимізаційну модель планування збуту продукції добувального підприємства за різних умов виконання планового обсягу добутку корисних копалин.

Викладення матеріалу та результати. Плануючи та укладаючи договори на збут продукції, підприємство-виробник керується плановими обсягами добутку залізної руди. Як було вказано вище, керівництво добувних підприємств постає перед проблемою розподілу виробленої продукції у кризові періоди – коли за економічних, техніко-технологічних або соціальних причин не вдалось виробити запланований обсяг продукції. І ключовою проблемою є не стільки процес фактичного оптимального розподілу продукції – цю задачу можна вирішити математичними методами. Проблемою є прийняття рішення щодо того, хто з контрагентів є більш пріоритетним. В даній роботі запропоновано застосовувати методи експертної оцінки контрагентів продукції, та ранжування їх.

На рис. 1 наведено етапи підготовки до прийняття рішень щодо оптимізації збуту продукції. Сам процес не є інноваційним, але в даній роботі зроблено акцент саме на специфіці видобувних підприємств. Також сама схема прийняття рішення, на відміну від існуючих, має контури зворотного зв'язку, що демонструє те, що даний процес не є лінійним, існує можливість за необхідності повернутись на попередній етап, а також після прийняття рішення відбувається накопичення та аналіз отриманого досвіду.

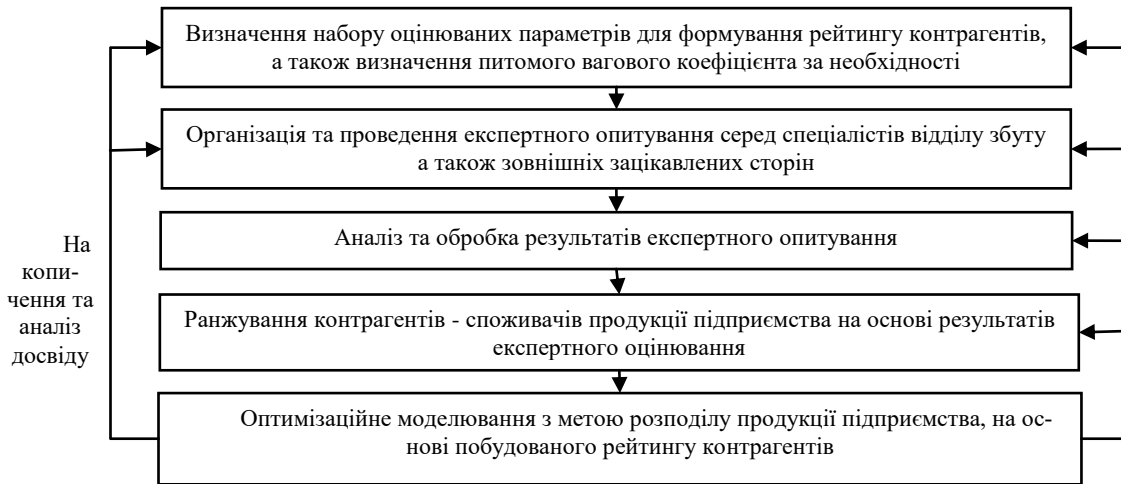


Рис 1. Етапи підготовки до прийняття рішення щодо оптимального планування збуту продукції

Як видно із запропонованої схеми, рейтингова оцінка та аналіз контрагентів є ключовим аспектом, адже саме побудова рейтингу дозволяє формалізувати процес вибору, зробити його більш об'єктивним і скоротити час прийняття рішення. В роботі представлено рекомендації щодо процесу ранжування контрагентів продукції добувних підприємств, який складається з 5 етапів.

Етап 1 – Визначення набору оцінюваних параметрів для визначення рейтингу контрагентів. З метою вирішення поставленої в роботі задачі, запропоновано використовувати наступні критерії для оцінки контрагентів: статус контрагента; репутація контрагента; оцінка умов поставок, масштабність поставок; складність транспортування; рівень платоспроможності; своєчасність оплати; надійність контрагента; фінансова стійкість; стабільність укладення договорів.

Етап 2 – Організація та проведення експертного опитування. Етап розпочинається безпосередньо з підбору експертів та формування експертних груп. В якості експертів рекомендується обирати провідні спеціалістів відділів збуту, які займаються організацією збуту продукції у відповідності з плановими завданнями та укладеними договорами (контрактами) на зовнішньому і внутрішньому ринку.

При формуванні анкет доцільно дотримуватись наступних вимог:
забезпечення незалежності формування експертами власної думки;
зручність роботи з анкетами;
прийнятні витрати часу на відповіді з питань анкети;
збереження анонімності відповідей для членів експертної групи.

Також даний етап включає в себе формування правил визначення сумарних оцінок на основі оцінок окремих експертів. Рекомендовано використовувати зважену середньоарифметичну оцінку думки групи експертів. Зважування ґрунтується на оцінці компетентності кожного експерта і є коефіцієнтом у діапазоні від 1 до 10. В якості оцінюваних параметрів рекомендовано наступні: рівень кваліфікації експертів у вузькій області спеціалізації, рівень теоретичної підготовки, практичного досвіду і широти кругозору. Додатково рекомендується визначити показник самооцінки експерта за тими ж критеріями. Добуток об'єктивного і суб'єктивного показників, поділений на сто, буде характеризувати компетентність експерта з даного питання

Експертам запропоновано оцінити кожен критерій за кожним контрагентом у діапазоні від 1 до 10 – такого порядку бальних оцінок достатньо для забезпечення репрезентативності результатів оцінювання.

Етап 3 - обробка та аналіз експертних оцінок. При проведенні аналізу зібраних експертних даних необхідно визначити узгодженість дій експертів і достовірність експертних оцінок. Для оцінки ступеня узгодженості думок експертів рекомендовано використовувати показник дисперсії.

Етап 4. Ранжування контрагентів – результатом даного етапу є поділ всіх контрагентів на три основні групи, згідно кількості набраних балів.

Основні положення щодо розподілу контрагентів а також логіка економіко-математичної моделі були викладені у [17]. В поточній роботі уточнено рекомендації та набула подальшого

розвитку оптимізаційна модель з урахуванням результатів, отриманих в процесі її експериментального застосування.

Зазначимо, рішення про співвідношення між сумою рейтингових балів та конкретною групою, до якої було віднесено підприємство, носить експертний характер, залежить від специфіки діяльності підприємства, кількості контрагентів. Дані співвідношення можуть корегуватися у динаміці.

До першої групи належать компанії із рейтингом у діапазоні від 90 до 100 балів. Як правило, це постійні, стратегічно-важливі клієнти - перевірені та платоспроможні, які позитивно зарекомендували себе у минулому, вже довгий час співпрацюють та стали надійними партнерами. У відповідності до цього, виконання укладених з ними контрактів, за будь яких умов виконання планових обсягів добутку (за виключенням критичних обставин), завжди повинні здійснюватися у повному обсязі.

До другої групи рекомендується відносити підприємства-контрагенти, які за рівнем оцінки потрапили у діапазон від 76 до 89 балів. Вони, як правило, також вже досить довгий час співпрацюють з досліджуваним підприємством, є платоспроможними, а їх контракти – вигідними для виробника. У разі виникнення непередбачуваних обставин та невиконання планового обсягу добутку корисних копалин, виробник не зможе у повній мірі забезпечити виконання контрактних вимог. Їм рекомендовано намагатися постачати ту ж саму частку, яка вказана у контракті, тільки розраховану від фактичного обсягу добутку.

До третьої групи належать найменш пріоритетні підприємства, які за рейтингом потрапили у діапазон від 0 до 75 балів. Як правило, вони тільки починають співпрацювати з виробником, та ще не встигли себе добре зарекомендувати, або у ретроспективі взаємовідношень були випадки несвоечасної оплати або інші проблеми. У разі недовиконання планового обсягу добутку залізної руди, обсяг недопоставки пропорційно розподіляється між цими підприємствами, а у разі істотного недовиконання плану, обсяги здійснення поставок даним підприємствам будуть мінімальними, або ж взагалі не будуть виконані.

У випадку перевиконання плану виробництва – за рахунок надлишків забезпечуються недопоставки минулих періодів.

Ключова ідея роботи полягає в тому, що у випадку недостатнього обсягу видобування корисних копалин, більш раціональним є забезпечення пропорційного розподілу обсягу недопоставки між контрагентами згідно пріоритету, ніж повне невиконання контрактних зобов'язань перед окремими споживачами. При цьому виконання контрактних умов у повному обсязі перед першою групою – стратегічними партнерами є принциповим.

В роботі запропоновано оптимізаційну модель планування збуту продукції видобувного підприємства, в якій враховується планування за окремими періодами. Модель використовує: інформацію про рейтинги контрагентів; планові обсяги поставок; ціни, вказані у контрактах; планові періодичні обсяги видобутку корисних копалин.

Цільова функція оптимізаційної моделі представляє виручку від реалізації продукції підприємства, визначається у кожному періоді та має наступний вигляд

$$F = \sum c_i x_i \rightarrow \max ,$$

де c_i - ціна, вказана у контрактній угоді для i -го контрагента, грн; x_i – фактичний обсяг поставок i -му контрагентові, тис.т.; i – порядковий номер контрагенту підприємства ($i=1..k..m..n$).

Система обмежень оптимізаційної моделі формується за наступною логікою.

Для першої групи контрагентів – за будь-яких умов виконання плану, у кожному конкретному періоді, завжди будуть виконуватися наступні умови

$$x_i = x_i^f = x_i^p ,$$

де x_i , x_i^f , x_i^p – відповідно, фактичний, скоригований і плановий обсяги поставок i -му контрагентові першої групи, тис.т.; номери контрагентів ($i=1..k$).

Для другої групи контрагентів, які знаходяться під порядковими номерами ($i=k+1..m$).

У першому плановому періоді

$$x_i^{f1} * \gamma \leq x_i \leq x_i^p ,$$

де γ – загальний відсоток невиконання плану видобутку продукції у поточному періоді, вимірюється в діапазоні $[0;1]$; x_i^{f1} – скоригований-1 обсяг поставок i -му контрагентові другої групи,

тис.т, який розраховується: у разі 100% виконання або перевиконання плану $x_i^f = x_i^p$; за умов недовиконання плану, визначається за формулою

$$x_i^{f1} = \frac{x_i^p}{Q} \times Q', \quad (1)$$

де Q – плановий обсяг виробництва за період, тис.т.; Q' – фактичний обсяг виробництва за період, тис.т.

У наступних періодах будуть виконуватись умови

$$x_i^{f2} * \gamma \leq x_i \leq x_i^{p2},$$

де x_i^{f2} – скоригований-2 обсяг поставок i -му контрагентові другої групи, тис.т., який розраховується:

за умов перевищення у минулому періоді фактичних обсягів поставок i -му контрагентові над плановими як

$$x_i^{f2} = x_i^{f1}; \quad (2)$$

за умов перевищення у минулому періоді планових обсягів поставок i -му контрагентові над фактичними як

$$x_i^{f2} = x_i^{f1} + (x_i^{p'} - x_i'), \quad (3)$$

де $x_i^{p'}$ – плановий обсяг поставок i -му контрагентові другої групи у минулому періоді; x_i' – фактичний обсяг поставок i -му контрагентові другої групи у минулому періоді.

В свою чергу, x_i^{f1} розраховується:

за умов оптимального виконання плану, перевиконання, а також за умов недовиконання плану добутку корисних копалин та перевищення при цьому фактичного обсягу добутку над плановим

$$x_i^{f1} = x_i^p; \quad (4)$$

за умов недовиконання плану видобутку корисних копалин та перевищення при цьому планового обсягу видобутку над фактичним за формулою (1).

Для третьої групи контрагентів, які знаходяться під номерами ($i=m+1..n$).

У першому періоді характерне виконання умов: $x_i \leq x_i^{f1}$, де x_i^{f1} – скоригований обсяг поставок i -му контрагентові третьої групи, тис. т., визначається наступним чином:

за умов оптимального виконання плану та перевиконання: $x_i^{f1} = x_i^p$;

за умов недовиконання плану, та частина продукції добувального підприємства, що залишилась розподіляється між контрагентами третьої групи, пропорційно до планових обсягів

$$x_i^{f1} = \frac{x_i^p}{Q} \times Q' \times \mu, \quad (5)$$

де μ - відсоток виконання плану для контрагентів, який залишаються після виконання умов поставки для перших двох груп контрагентів, вимірюється в діапазоні [0;1] та розраховується за наступною формулою

$$\mu = (1 - \gamma) - \frac{\sum_{i=1}^k x_i^p}{\sum_{i=m+1}^n x_i^p} * \gamma.$$

У наступних періодах будуть виконуватись умови $x_i \leq x_i^{f2}$,

де x_i^{f2} розраховується:

при перевищенні у минулому періоді фактичних обсягів поставок i -му споживчу над плановими - за формулою (2);

при перевищенні у минулому періоді, планових обсягів поставок i -му контрагентові над фактичними за формулою (3).

В свою чергу x_i^{f1} розраховується:

за умови оптимального виконання плану, перевиконання, а також за умов недовиконання плану видобутку корисних копалин та перевищення при цьому фактичного обсягу добутку над

плановим - за формулою (4);

за умови недовиконання плану видобутку корисних копалин та перевищення при цьому планового обсягу видобутку над фактичним - за формулою (5).

Також, у обов'язковому порядку повинні виконуватись загальні умови: $x_i \geq 0$ та $\sum x_i = Q'$.

Розрахунок моделі здійснюється методами математичного програмування із застосуванням відповідного програмного забезпечення.

Дану модель було застосовано для умов видобувного підприємства для різних варіантів недовиконання та перевиконання планових показників видобутку корисних копалин. Модель складено на основі базової відкритої інформації за 2017 р. Враховано умову щоквартального планування поставок.

На рис.2 наведено результати оцінювання контрагентів експертами та розрахунок рейтингової оцінки кожного окремого споживача продукції. Значення кожного параметра визначалось як зважене середньоарифметичне оцінок чотирьох експертів. З урахуванням того, що значення статистичної дисперсії по всім показникам варіює у діапазоні [0; 0,45], можна зробити висновок про узгодженість суджень експертів. Зазначимо, що в даному дослідженні фактори у загальній рейтинговій оцінці не зважувались – приймалась гіпотеза про однакову значимість всіх показників.

1	А	В	С	D	E	F	G	H	I	J	K	
												Вітчизняні споживачі
2	Показник, що характеризує контрагента	ПрАТ «Півд ГЗК»	ПрАТ «ДМКД»	ПрАТ «АМКР»	ПАТ «МК Азовсталь»	ПАТ «ММК ім. Ілліча»	ПрАТ «МК Запоріжсталь»	Дніпровський метал завод				
3	1. Статус, імідж, репутація	10	10	10	10	9	8	10				
4	2. Вигідність умов поставок	9	10	7	9	8	6	8				
5	3. Масштабність поставок	9	10	5	8	8	4	7				
6	4. Вигідність транспортування	10	10	8	9	8	6	8				
7	5. Платоспроможність	10	10	8	9	9	7	8				
8	6. Своєчасність оплати	9	10	8	10	8	7	9				
9	7. Надійність контрагента	10	10	9	9	9	7	9				
10	8. Фінансова стійкість	9	10	9	9	10	6	9				
11	9. Стабільність укладання договорів	10	10	5	8	7	5	6				
12	10. Виконання зобов'язань за контрактами	10	10	8	9	9	7	9				
13	Сума балів	96	100	77	90	85	65	83				
14												
15		Експортні споживачі										
16	Показник, що характеризує контрагента	МК Австрії	МК Болгарії	МК Румунії	МК Польщі	МК Чехії	МК Словаччини	МК Сербії	МК Угорщини	МК Китаю	МК Туреччини	
17	1. Статус, імідж, репутація	10	8	6	10	9	10	10	7	8	5	
18	2. Вигідність умов поставок	8	8	6	9	7	9	10	6	8	6	
19	3. Масштабність поставок	8	6	5	10	8	10	9	5	8	4	
20	4. Вигідність транспортування	9	6	6	9	7	9	9	6	9	5	
21	5. Платоспроможність	9	9	7	10	8	10	9	8	10	6	
22	6. Своєчасність оплати	9	8	6	10	8	9	9	7	9	6	
23	7. Надійність контрагента	9	7	7	9	9	9	9	7	9	7	
24	8. Фінансова стійкість	9	7	6	10	9	9	9	7	9	6	
25	9. Стабільність укладання договорів	8	6	5	10	7	10	10	5	6	5	
26	10. Виконання зобов'язань за контрактами	9	8	7	10	8	9	9	8	9	6	
27	Сума балів	89	74	62	97	81	94	93	68	86	57	
28												

Рис. 2. Середньозважені оцінки експертів та бальна оцінка контрагентів

В роботі запропоновано шаблон аналітичної форми для представлення інформації про розподіл продукції між контрагентами (рис. 3). Дана форма враховує необхідність внесення скорегованих обсягів поставок.

Обсяг поставок за контрактом, тис. т.	Споживачі (на основі рейтингу) у I кварталі									
	ПрАТ «ДМКД»	Мет. комбінат, Польща	ПрАТ «Півд ГЗК»	Мет. комбінат, Словаччина	Мет. комбінат, Сербія	ПАТ «МК Азовсталь»	Мет. комбінат, Австрія	Мет. комбінат, Китай	ПрАТ «ММК»	Дніпровський метал завод
Плановий	95,0	84,0	80,0	73,0	61,0	42,0	38,0	33,0	30,0	28,0
Скоригований 1	95,0	84,0	80,0	73,0	61,0	42,0	35,3	30,7	27,9	26,0
Фактичний	95,0	84,0	80,0	73,0	61,0	42,0	38,0	33,0	11,2	28,0
Ціна, грн./т.	689	710	690	712	712	691	718	713	687	690

Обсяг поставок за контрактом, тис. т.	Споживачі (на основі рейтингу) у I кварталі							Сума, тис. т.	Обсяг добутку, тис.т.	
	Мет. комбінат, Чехія	ПрАТ «АМКР»	Мет. комбінат, Болгарія	Мет. комбінат, Угорщина	ПрАТ «МК Запоріжсталь»	Мет. комбінат, Румунія	Мет. комбінат, Туреччина		План	Факт
Плановий	23,0	20,0	17,0	10,0	8,0	5,0	5,0	660	660	613,8
Скоригований 1	21,4	18,6	11,1	5,6	4,5	2,3	2,3	620,7		
Фактичний	23,0	20,0	11,1	5,6	4,5	2,3	2,3	609,5		
Ціна, грн./т.	715	695	718	711	688	712	710			

Рис 3. Оптимальний розподіл обсягів поставок продукції у I кварталі за умов недовиконання плану на 7%

Продемонструємо результати економіко-математичного моделювання для випадків невиконання виробничого плану та надмірного видобутку корисних копалин (рис. 3, 4).

Як видно з рис. 3, недовиконання встановлених планових обсягів видобутку корисних копалин не впливатиме на обсяги поставок пріоритетним контрагентам першої групи. Весь обсяг недовиробництва був розподілений, згідно встановлених вимог, між контрагентами II та III груп. При цьому, жодному контрагентові не біло відмовлено у поставках.

На рис. 4 представлено результати оптимізаційного моделювання для другого кварталу для умов перевиконання плану видобутку. Фактичні обсяги поставок враховують необхідність компенсувати результати діяльності у попередньому періоді

Обсяг поставок за контрактом, тис. т.	Споживачі (на основі рейтингу) у II кварталі									
	ПрАТ «ДМКД»	Мет. комбінат, Польща	ПрАТ «Півд ГЗК»	Мет. комбінат, Словаччина	Мет. комбінат, Сербія	ПАТ «МК Азовсталь»	Мет. комбінат, Австрія	Мет. комбінат, Китай	ПрАТ «ММК»	Дніпровський метзавод
Плановий	98,0	85,0	80,0	73,0	61,0	42,0	38,0	33,0	30,0	28,0
Скоригований 1	98,0	85,0	80,0	73,0	61,0	42,0	38,0	33,0	30,0	28,0
Скоригований 2	98,0	85,0	80,0	73,0	61,0	42,0	38,0	33,0	48,8	28,0
Фактичний	98,0	85,0	80,0	73,0	61,0	42,0	38,0	33,0	48,8	28,0
Ціна, грн./т.	689	710	690	712	712	691	718	713	687	690

Обсяг поставок за контрактом, тис. т.	Споживачі (на основі рейтингу) у I кварталі							Сума, тис. т.	Обсяг добутку, тис. т.	
	Мет. комбінат, Чехія	ПрАТ «АМКР»	Мет. комбінат, Болгарія	Мет. комбінат, Угорщина	ПрАТ «МК Запоріжсталь»	Мет. комбінат, Румунія	Мет. комбінат, Туреччина		План	Факт
Плановий	25,0	20,0	16,0	10,0	8,0	5,0	5,0	657	657	722,7
Скоригований 1	25,0	20,0	16,0	10,0	8,0	5,0	5,0	657		
Скоригований 2	25,0	20,0	21,9	14,4	16,0	7,7	7,7	699,5		
Фактичний	25,0	20,0	21,9	14,4	16,0	7,7	7,7	699,5		
Ціна, грн./т.	715	695	718	711	688	712	710			

Рис 4. Оптиміальний розподіл обсягів поставок продукції у II кварталі за умов перевиконання плану на 10%

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, застосування запропонованої комплексної моделі для прийняття рішень на основі використання рейтингових оцінок та оптимізаційного моделювання дозволить збільшити ефективність збуту продукції видобувних підприємств в умовах нерівномірного видобутку корисних копалин. Зауважимо, що розроблена модель розрахована для застосування в умовах підприємств, для яких характерне виробництво однорідної продукції. Подальший розвиток дослідження полягає у розробці більш складної економіко-математичної моделі, яка б враховувала специфіку багатонаменклатурних підприємств.

Список літератури

1. **Бабець Є. К., Гончар Т. В., Стебляк О. О.** Аналіз привабливості зовнішніх ринків збуту ВАТ "Суша Балка" за допомогою матриць BCG та McKINSEY // 36. матеріалів міжнародної конференції «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості», 2004. – ст. 182-185.
2. **Варава Л. М., Подсевак В. В., Єлізаров І. Г.** Визначення перспективних ринків збуту та стратегії поведінки на них залізородних гірничо-збагачувальних підприємств з використанням матриці "привабливість - конкурентоспроможність" // Вісник КТУ. – 2011, №27 – ст. 306-3011.
3. **Макаренко М. В.** Підвищення конкурентоспроможності промислової продукції шляхом застосування ефективної маркетингової концепції збуту // Актуальні проблеми економіки, 2008, №1 (79). - С. 26-34.
4. **Біловодська О.А.** Маркетингова політика розподілу : навч. посіб. - К. : Знання, 2011. - 495 с.
5. **Гладун П.П.** Управління каналами розподілу як складова комерційного успіху підприємства//Економіка та управління підприємствами. – 2011, №6. – ст. 83-88.
6. **Гірченко Т.Д., Дубовик О.В.** Маркетинг: Навч. посібник. – К.: Фірма Інкос, Центр навчальної літератури, 2007. – 255 с.
7. **Планування діяльності підприємства: Навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. / За заг. ред. В. Є. Москалюка.** – К.: КНЕУ, 2002. – 252 с.
8. **Ямкова О.М.** Зміст формування збутової політики виробничих підприємств / О.М. Ямкова // Економіка і управління. – 2012. – № 2. – С. 52-59.
9. **Ковальчук В. А., Макаров А. О.** Встановлення оптимальної структури збутової діяльності видобувного підприємства // Матеріали міжнар. наук.-техн. Конференції «Розвиток промисловості та суспільства», 2017. - с. 115
10. **Ковальчук Т. М., Ковальчук Н. В.** Оптимізація збутової діяльності гірничо-видобувного підприємства // 36. матеріалів міжнародної конференції «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості», 2012. – ст. 86.

11. Экономико-математические методы и модели: практика применения в курсовых и дипломных работах: учебное пособие / В.В. Христиановский, Т.В. Нескорородева, Ю.Н. Полшков; под ред. В.В. Христиановского – Донецк: ДонНУ, 2012. – 324 с
12. Економіко-математичне моделювання: Навчальний посібник / За ред. О. Т. Іващука. – Тернопіль: ТНЕУ «Економічна думка», 2008. – 704 с.
13. Єжова Л. Ф. Інформаційний маркетинг: Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 2002. – 560 с.
14. Окландер М. А., Хромов О. П. Промислова логістика [Текст] .-К.:ЦНЛ,2004 .-222 с
15. Тридід О. М., Азаренкова Г. М., Мішина С. В., Борисенко І. І. Логістика .-К.:Знання,2008 .-566 с.
16. Темченко А. А., Луценко Н. И. Прогнозирование объемов продаж в системах массового обслуживания //Вісник КТУ, 2003, №2.-С. 147-149.
17. Обґрунтування економіко-математичної моделі оптимізації планування збуту продукції / Завсєгдашня І.В., Завсєгдашня О.О.// Materiały IX międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Strategiczne pytania światowej nauki – 2014» - Volume 5. Ekonomiczne nauki,,: Pzemysl: Nauka I studia 2014 – P.80-84

Рукопис подано до редакції 20.10.2020

УДК 622.765

А.Ю. КРИВЕНКО, канд. техн. наук, ст. викл.,
Ю.Ю. КРИВЕНКО, канд. техн. наук., ст. наук. співроб.
Криворізький національний університет

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОДІЛУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ У ВАННІ ДЕШЛАМАТОРА

Мета. Дослідження питань пов'язаних із гравітаційним гідравлічним збагаченням залізорудної сировини в дешламаторах і вирішення їх методами математичного і імітаційного моделювання шляхом застосування теорії подоби і розмірностей.

Методи досліджень. Використання загальнонаукових методів дослідження: теорії ймовірності, теорії інформації, методів математичного моделювання, законів гідравліки і гідродинаміки.

Наукова новизна. Виконано прогнозування поведінки вихідного потоку пульпи з живильного пристрою апарата, як компактного затопленого повного в'язового струменю, що дозволило досліджувати залежності швидкості руху пульпи і змісту твердої фази від параметрів пристрою живлення. Отримані залежності дають можливість зменшити негативний вплив затопленого струменю на гравітаційне збагачення залізорудної сировини шляхом накладення обмежень на конструктивні особливості живильного пристрою. На основі застосування відомих законів гідродинаміки була побудована математична модель гравітаційного гідравлічного поділу залізорудної сировини у ванні дешламатора після виходу пульпи з живильного пристрою, відповідно до якої при виборі структури моделі використовуються теоретичні передумови, а параметри, що входять у модель, встановлюють експериментально. Отримана залежність швидкості нагромадження згущеного продукту, як функція гідравлічної крупності часток, що осаджуються, розмірів ванни апарата і пристрою подачі вихідного живлення. Представлена залежність дозволяє вибирати необхідні параметри гідравлічного апарата і пристрою подачі вихідного живлення з метою досягнення необхідної якості загущеного продукту.

Практична значимість. Полягає в удосконаленні технології збагачення залізних руд за рахунок підвищення ефективності гідравлічного збагачення у дешламаторах, а також у розробці нового способу формування вихідного живлення в прийомну ємність апарата, визначенні конструктивних і технологічних параметрів процесу.

Результати. Проведення імітаційного моделювання шляхом застосування теорії подібності і математичної моделі гравітаційного поділу залізорудної сировини у дешламаторі представлена в безрозмірному вигляді. Це дозволяє істотно скоротити число параметрів, що впливають на протікання досліджуваного процесу. Проведення обчислювального експерименту за результатами математичного моделювання процесу гравітаційного поділу залізорудної сировини у дешламаторі дозволило вивчити поведінку відповідних залежностей. Разом з тим, на практиці виникають питання про знаходження кількісних співвідношень. Для рішення цих питань необхідне проведення експериментів на реальних об'єктах, тобто на функціонуючих дешламаторах, з метою збору статистичного матеріалу для оцінки величин параметрів, які входять у синтезовані математичні моделі.

Ключові слова: дешламатор, знешламлення, радіальний згущувач.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-69-75

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Можливість підвищення якості магнетитових концентратів гірничо-збагачувальних комбінатів забезпечує їхню значну конкурентоздатність як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Це досягається

за рахунок реалізації розділових характеристик процесу гідравлічного знешламлення на різних етапах процесу збагачення руди.

Процес збагачення в існуючих конструкціях радіальних згущувачів ініціюється потоком вихідного живлення. Застосований спадний потік вихідного живлення обмежує приріст якісних показників пісків через збіг двох векторів: вектора напрямку руху часток твердої фази і вектора напрямку гравітаційної складової. Таке формування вихідного потоку визначало неповний винос дрібних породних часток з нижніх шарів збагачувального апарата.

Аналіз досліджень і публікацій. Рішення проблеми підвищення якості збагачуваного продукту при гідравлічному гравітаційному збагаченні в основному було зв'язано модернізацією самого збагачувального апарата або зміни температури, щільності живильної рідини. Уваги до гідравлічних процесів усередині чана апарата, зокрема руху часток у живильному потоці пульпи, приділялося недостатньо [1, 2].

Постановка завдання. Розділова характеристика магнітного дешламатора перебуває у прямій залежності від факторів, що визначають характер масопереносу часток твердої фази. Цими факторами є конструктивні параметри дешламатора, швидкість і напрямок вихідного потоку, глибина його розвантаження, швидкості висхідних потоків. У зв'язку із цим, завданням досліджень є встановлення динаміки просторового переміщення часток твердої фази з урахуванням впливу зазначених факторів, а також проведення імітаційного моделювання шляхом застосування теорії подібності і розмірності математичної моделі гравітаційного поділу залізородної сировини у ванні магнітного дешламатора.

Виклад матеріалу і результати. При досягненні границі мінімальної швидкості пульпи в живильному струмені, починає відчуватися дія на частки сил гравітації, що приводить до розділення потоку на складові. Частки, які залишають струмінь пульпи і виявляються нижче цього струменя, можуть тільки осаджуватися. Частки, що покинули живильний струмінь і опинилися вище, можуть тільки підніматися нагору. Інакше, частки знову попадають у струмінь пульпи, де відбувається їхнє перемішування. За межами далекобійності потоку живлення спостерігається звичайний гравітаційний гідравлічний поділ залізородної сировини у ванні магнітного дешламатора.

Швидкість приросту маси часток, що осаджуються, під дією гравітаційних сил можливо записати у вигляді

$$\frac{dM}{dt} = 2\pi \cdot \delta \cdot \int_R^{R_0} v(x) x dx, \quad (1)$$

де δ – щільність часток, кг/м³; R_0, R – розміри апарата, м; $v(x)$ – швидкість осадження часток у ванні дешламатора, м/с.

Швидкість осадження часток у ванні дешламатора описується диференціальним рівнянням

$$m \frac{dv(x)}{dt} = m(1 - c_n(x)) \left(1 - \frac{\Delta}{\delta} \right) \cdot g - F(x), \quad (2)$$

де m – маса частки, кг; $c_n(x)$ – початковий вміст твердого в пульпі, частки, од.; Δ – густина рідини, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; $F(x)$ – сила опору середовища, у яке осаджується частка, н.

Осадження часток у ванні дешламатора відбувається досить повільно, сила опору середовища визначається законом Стокса при вимозі, що частка має округлу форму [3]

$$F(x) = 3\pi \cdot \mu \cdot d_0 \cdot v(x), \quad (3)$$

де μ – динамічна в'язкість, Па·с; d_0 – діаметр частки, м.

З огляду на те, що в початковий момент часу швидкість осадження часток була нульовою ($v(t=0) = 0$), рішення диференціального рівняння (1), з урахуванням (2), буде мати вигляд

$$v(x) = \frac{m \cdot g}{3\pi \cdot \mu \cdot d_0} (1 - c_n(x)) \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{\delta} \right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{3\pi \cdot \mu \cdot d_0 \cdot t}{m}} \right). \quad (4)$$

У розглянутому випадку гідравлічна крупність частки обчислюється по формулі

$$\theta = \frac{1}{18} \frac{(\delta - \Delta) \cdot g \cdot d_0^2}{\mu}. \quad (5)$$

З урахуванням (3), швидкість (4) представиться так

$$v(x) = (1 - c_n(x)) \cdot \theta \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad (6)$$

де $\tau = \frac{d_0^2 \cdot \delta}{18\mu}$ – гідравлічна одиниця часу, с.

Тоді, з урахуванням (4), формула (5) приймає вигляд

$$\frac{dM}{dt} = 2\pi \cdot \delta \cdot \theta \cdot \int_R^{R_0} (1 - c_n(x)) \left(1 - e^{-\frac{t(x)}{\tau}}\right) x dx. \quad (7)$$

Беручи до уваги, що частка, яка осаджується, досягає дна, необхідно для використання (5) знайти час її осадження. Згідно (6), цей час може бути знайдено шляхом вирішення рівняння

$$(1 - c_n(x)) \cdot \theta \int_0^{t_0} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) dt = H - h_0 - y_n(x)$$

або
$$(1 - c_n(x)) \cdot \theta \cdot \left(t_0 - \tau \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_0}{\tau}}\right)\right) = H - h_0 - y_n(x). \quad (8)$$

Рівняння (8) є нелінійним і допускає тільки чисельне рішення.

З урахуванням знайденої величини часу осадження часток згідно формули (6), формула (7) визначає величину вагової витрати згущеного продукту

$$G_2 = 2\pi \cdot \delta \cdot \theta \cdot \int_R^{R_0} (1 - c_n(x)) \left(1 - e^{-\frac{t_0(x)}{\tau}}\right) x dx, \quad (9)$$

де G_2 – вагова витрата згущеного продукту, кг/с.

Отримане рішення (9) припускає безперервне розвантаження згущеного продукту. При такому розвантаженні згущеного продукту внаслідок досить швидкого осадження часток пульпи можлива ситуація, коли не буде досягнутий заданий вміст твердого. Тут природне застосування циклічного розвантаження згущеного продукту з ванни апарата. Із цією метою на дні ванни накопичується без розвантаження згущений продукт, вміст твердого в якому визначається особливостями осадження часток. Після досягнення певної маси пісків на дні ванни дешламатора, що визначається фіксацією висоти шару пісків, здійснюється вивантаження згущеного продукту дешламатора.

Маса пісків на дні ванни магнітного дешламатора перебуває шляхом рішення рівняння (7) при нульовій початковій умові ($M(t=0) = 0$)

$$M = 2\pi \cdot \delta \cdot \theta \int_R^{R_0} (1 - c_n(x)) \cdot \left(t(x) - \tau \cdot \left(1 - e^{-\frac{t(x)}{\tau}}\right)\right) x dx. \quad (10)$$

Висота шару пісків на дні ванни дешламатора визначається по формулі

$$h_2 = \theta \frac{\int_R^{R_0} (1 - c_n(x)) \left(t(x) - \tau \cdot \left(1 - e^{-\frac{t(x)}{\tau}}\right)\right) x dx}{\int_R^{R_0} (c_2 - c_n(x)) x dx}, \quad (11)$$

де c_2 – вміст твердого в згущеному продукті, кг/кг.

Для дешламатора мають місце наступні балансові співвідношення

$$Q_0 = Q_1 + Q_2, \quad (12)$$

$$\rho_0 \cdot Q_0 = \rho_1 \cdot Q_1 + G_2, \quad (13)$$

де ρ_0 – щільність пульпи на виході із РКУ, кг/м³; ρ_1 – щільність проясненого продукту, кг/м³.

Беручи до уваги, що

$$Q_2 = \frac{G_2}{\rho_2}, \quad (14)$$

де ρ_2 – щільність загущеного продукту, $\text{кг}/\text{м}^3$,

$$\rho_2 = \frac{1}{\frac{1}{\rho_1} - \frac{Q_0}{G_2} \left(\frac{\Delta}{\rho_1} - 1 \right)}. \quad (15)$$

Так як

$$c_2 = \frac{\rho_2 - \Delta}{\delta - \Delta},$$

то, з урахуванням (15), одержуємо

$$c_2 = \frac{1}{\delta - \Delta} \left(\frac{1}{\frac{1}{\rho_1} - \frac{Q_0}{G_2} \left(\frac{\rho_0}{\rho_1} - 1 \right)} - \Delta \right). \quad (16)$$

Задаючи густину зливу, наприклад, у межі, рівній щільності води, можна по формулі (16) розрахувати максимально можливий вміст твердого в згущеному продукті. Якщо обчислений вміст твердого виявиться менше заданої величини, то необхідно перейти від безперервної роботи дешламатора до циклічної. Таким способом буде забезпечений заданий вміст твердого у згущеному продукті магнітного дешламатора.

З рівняння (12), з урахуванням (13), знаходимо витрату зливу

$$Q_1 = Q_0 - Q_2. \quad (17)$$

У свою чергу, користуючись (15), знаходимо щільність зливу

$$\rho_1 = \frac{\rho_0 \cdot Q_0 - G_2}{Q_1}. \quad (18)$$

Математичне моделювання гравітаційного поділу залізорудної сировини у ванні магнітного дешламатора дало можливість одержати аналітичні формули, які дозволяють розрахувати поле швидкостей потоку пульпи і також вміст твердого. Аналіз отриманих формул вказує на їхню складність для практичного застосування. Це пов'язано з тим, що при побудові математичних моделей формалізація приводить до точної постановки завдання - і в цьому її позитивна роль. Але, з іншої сторони, математичне рішення приводить до втрати наочності, що в першу чергу відноситься до складності отриманих розрахункових формул. Тому виникає завдання практичної реалізації отриманих формул при збереженні вимог по точності обчислень і адекватності моделювання. Один з можливих шляхів рішення цього завдання є імітаційне моделювання гравітаційного розділення залізорудної сировини у ванні магнітного дешламатора [4, 5]. Зміст імітаційного моделювання складається в розробці програм і алгоритмів, що реалізують за допомогою комп'ютерів отримані математичні моделі гравітаційного поділу залізорудної сировини у ванні дешламатора.

Реалізація результатів математичного моделювання гравітаційного поділу залізорудної сировини у ванні дешламатора припускає застосування імітаційного моделювання. Природний підхід до рішення цього завдання ґрунтується на теорії подібності і розмірностей [6, 7]. Особливістю цієї теорії є застосування узагальнених змінних. Зміст цих змінних полягає в тому, що вони складені зі звичайних фізичних величин, характерних для досліджуваного процесу, але в певних сполученнях, що залежать від природи цього процесу. Це створює важливі переваги, які зв'язано, насамперед, зі зменшенням числа змінних. Це приводить до того, що більш чітко виступають внутрішні зв'язки, що характеризують процес, а вся кількісна картина стає в цілому більше ясною. Особливо важливим є те, що фіксованим значенням узагальнених змінних відповідає не один певний набір первісних змінних, а безліч цих наборів. Тому можна зробити висновок, що при рішенні завдання у узагальненому вигляді досліджується не одиничний випадок, а багато випадків, об'єднаних спільними властивостями.

Застосування теорії подібності і розмірності ґрунтується на подібності розглянутих явищ, зміст яких полягає в тому, що по характеристиках одного можна одержати характеристики іншого. Критеріями подібності двох явищ є рівності безрозмірних параметрів. Необхідно підкреслити, що знаходження чисел подібності для досліджуваних процесів вимагає глибокого знання механізму цих процесів і є складним завданням. При вирішенні цього завдання необхідно виділити два випадки. До першого випадку ставляться процеси, які можна представити у вигляді математичних моделей, тобто описати рівняннями. У другому випадку, коли процеси не мають математичного опису, єдиною теорією, що дозволяє знайти числа подібності. Якщо має місце математичний опис у вигляді рівнянь, то числа подібності визначаються як безрозмірні коефіцієнти рівнянь.

З огляду на те, що досліджується рух потоку пульпи у ванні дешламатора, природно розглянути гідродинамічну подібність, тобто з'ясувати умови, при яких формули, що описують цей рух, будуть подібні. Для цього необхідно записати формулу (18) у безрозмірному вигляді. У якості масштабу довжин і швидкостей природно вибрати їхні характерні розміри. У результаті одержуємо заміни

$$x = l \cdot \tilde{x}, R = \rho \cdot \tilde{R}, d = \psi \cdot \tilde{d}, v_m = V \cdot \tilde{v}_m, v_0 = V \cdot \tilde{v}_0, \quad (19)$$

де l, ρ, ψ – характерні розміри довжин струменя, радіуса й відстані між дисками пристрою живлення, відповідно, м; V – характерна величина швидкості струменя пульпи, м/с; $\tilde{x}, \tilde{R}, \tilde{d}, \tilde{v}_m, \tilde{v}_0$ – безрозмірний вид величин x, R, d, v_m, v_0 , відповідно.

Після підстановки заміни (19) у формулу (7) одержуємо з допущенням про поширення струменя в горизонтальному напрямку формулу для розрахунку швидкості струменя в безрозмірному вигляді

$$\tilde{v}_m = a \cdot A \cdot \frac{\tilde{v}_0}{\tilde{x}} \sqrt{\tilde{R} \cdot \tilde{d}}, \quad (20)$$

$$\text{де } a = \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot \varphi \cdot b}, A = \frac{1}{l} \sqrt{\rho \cdot \psi}.$$

З формули (20) слідує, що має місце гідродинамічна подібність по швидкостям, що розраховуються, якщо буде однаковим безрозмірний параметр A .

Разом з тим, необхідно підкреслити, що формулу (20) можна представити у вигляді

$$\tilde{v}_m = a_1 \cdot A \cdot \frac{\tilde{v}_0}{\tilde{x}} \sqrt{\tilde{S}}, \quad (21)$$

$$\text{де } \tilde{S} = 2\pi \cdot \tilde{R} \cdot \tilde{d}, a_1 = \sqrt{\frac{\varphi \cdot b}{\pi \sqrt{2\pi}}}.$$

Аналіз формули (21) показує, що вплив пристрою живлення на швидкість струменя характеризується узагальненою змінною \tilde{S} , котра визначає в безрозмірному виді площу бічної поверхні пристрою живлення, через яку проходить струмінь пульпи. Ця узагальнена змінна \tilde{S} дозволяє врахувати безліч сукупностей змінних \tilde{R} й \tilde{d} .

У свою чергу, швидкість пульпи в будь-якій точці струменя в безрозмірному виді розраховується згідно (6) і (21) по формулі

$$\tilde{v} = a_1 \cdot A \cdot \frac{\tilde{v}_0}{\tilde{x}} \sqrt{\tilde{S}} \cdot e^{-b^2 \cdot \tilde{y}^2}, \quad (22)$$

$$\text{де } \tilde{y} = \frac{y}{l}, \tilde{v} = \frac{v}{V}.$$

Для розрахунку вмісту твердого в струмені пульпи на її осі в безрозмірному вигляді необхідно ввести заміну

$$c_m = \varepsilon \cdot \tilde{c}_m, c_0 = \varepsilon \cdot \tilde{c}_0, \quad (23)$$

де ε – характерний вміст твердого в струмені пульпи, кг/кг; \tilde{c}_m, \tilde{c}_0 – безрозмірний вміст твердого на осі струменя і на виході із пристрою живлення, відповідно.

З урахуванням (23) формула (17) прийме вигляд

$$\tilde{c}_m = a_2 \cdot A \cdot \frac{\tilde{c}_0}{\tilde{x}} \sqrt{\tilde{S}}, \quad (24)$$

$$\text{де } a_2 = \sqrt{\frac{(b^2 + k^2) \cdot \varphi}{b \cdot \pi \sqrt{2\pi}}}.$$

Для розрахунку вмісту твердого в будь-якій точці струменя в безрозмірному вигляді формула запишеться у вигляді

$$\tilde{c} = a_2 \cdot A \cdot \frac{\tilde{c}_0}{\tilde{x}} \sqrt{\tilde{S}} \cdot e^{-k^2 \cdot \tilde{y}^2}, \quad (25)$$

$$\text{де } \tilde{c} = \frac{c}{\varepsilon}.$$

Для приведення рівняння (18), що описує осадження частки у ванні дешламатора, до безрозмірного вигляду необхідно зробити заміну змінних

$$v = \theta_0 \cdot \tilde{v}, \quad t = \tau \cdot \tilde{t}, \quad (26)$$

де $\theta_0 = \theta \cdot (1 - c_n(x))$; \tilde{v} , \tilde{t} – безрозмірні величини швидкості й часу, відповідно.

З урахуванням позначень (24) рівняння (25) прийме вигляд

$$\frac{d\tilde{v}}{d\tilde{t}} + \tilde{v} = 1. \quad (27)$$

Характерною рисою отриманого рівняння є те, що замість п'яти окремих параметрів ($c_n(x), \Delta, \delta, \mu, d_0$), застосовуються тільки два комплекси (θ_0, τ), які представлені як результат алгебраїчних операцій над вищезгаданими параметрами. Окремим величинам цих комплексів відповідає безліч значень параметрів. Відповідно до структури диференціального рівняння (29) можна зробити висновок, що при обраних безрозмірних величинах швидкості й часу (28) досліджувані процеси осадження часток пульпи у ваннах дешламаторів будуть подібні, тому що можна шляхом простого перерахування одержати характеристики одного процесу осадження по характеристиках іншого.

Також можна вирішити диференціального рівняння (27) при нульовій початковій умові ($\tilde{v}(\tilde{t} = 0) = 0$) воно має вигляд

$$\tilde{v} = 1 - e^{-\tilde{t}}. \quad (28)$$

Висновки і напрямки подальших досліджень. Розрахунками отримана залежність швидкості нагромадження згущеного продукту як функція гідравлічної крупності часток, що осаджують, розмірів ванни дешламатора і живильного пристрою. Представлена залежність дозволяє вибирати необхідні параметри дешламатора і живильного пристрою з метою досягнення необхідної якості згущеного продукту. З метою проведення імітаційного моделювання шляхом застосування теорії подібності і розмірностей математична модель гравітаційного поділу залізорудної сировини у ванні дешламатора представлена в безрозмірному вигляді, що дозволило істотно скоротити число параметрів, що впливають на протікання досліджуваного процесу.

Список літератури

1. Козин В. З. Експериментальне моделювання й оптимізація процесів збагачення корисних копалин / В. З. Козин. – М. : Надра, 1984. – 112 с.
2. Панський Л. А. Системний аналіз у збагаченні корисних копалин / Л. А. Панський, В. З. Козин. – М. : Надра, 1978. – 486 с.
3. Шохін В. Н. Гравітаційні методи збагачення / В. Н. Шохін, А. Г. Лопатин. – М. : Надра, 1980. – 400 с.
4. Смирнов Н. В. Курс теорії ймовірностей і математичної статистики / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М. : Наука, 1965. – 511 с.
5. Максимей И. В. Імітаційне моделювання на ЕОМ / И. В. Максимей. – М. : Радіо й зв'язок, 1988. – 231 с.
6. Коваль В. П. Введення в аеродинаміку багатофазного середовища : учеб. посібник / В. П. Коваль. – Дніпропетровськ : ДГУ, 1975. – 89 с.
7. Лойцянский Л. Г. Механіка рідини й газу / Л. Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1970. – 904 с.

Рукопис подано до редакції 15.10.2020

УДК 621.181:62

В.В. СУРТАСВ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК, ТЕПЛОВИХ СХЕМ СИСТЕМ, ПРИСТРОЇВ, УСТАНОВОК УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА (α -МОДЕЛЬ)

Мета. Підвищення загальної ефективності теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла. Також метою розрахунків теплоутилізаторів є визначення показників стану робочих тіл (РТ) і потоків обміну теплоти й маси РТ у теплоутилізаторах з термодинамічної точки зору являють собою гомогенні або гетерогенні системи. До гомогенних, як відомо, відносять ті системи, хімічний склад і фізичні властивості яких у всіх їх частинах однакові або змінюються безупинно без стрибка від однієї точки до іншої, а до гетерогенних - системи складаються із двох або більше різних гомогенних областей. Гомогенні області в гетерогенній системі є її компонентами або фазами її компонентів. Після поділу гетерогенної системи на компоненти й фази представляється можливим її повний опис. Компоненти й фази характеризуються енергією, ентальпією, ентропією й ін..

Методи дослідження. Наукове завдання, проблема підвищення загальної ефективності різних теплоенергетичних установок, їх теплових схем установок, систем пристроїв утилізації теплоти, от далеко не повний перелік актуальних питань, наукових задач і проблеми, рішення яких неможливо без розробки спеціальних методик рішення інженерно-технічних завдань, актуальних наукових задач і проблеми проектування й будівництва контактних тепломасообмінних апаратів.

Наукова новизна полягає в тому, що теоретичні положення, методи, постановка завдання, моделі, граничні рівноважні стани робочих тіл, узагальнені безрозмірні показники рішення завдань сталого тепло- і масопереносу тепло й масообміну в апаратах утилізації теплоти.

Практична значимість виконаної роботи полягає в тому, що основний елемент будь-яких теплоутилізаційних установок, пристрою, системи - тепломасообмінний апарат, від ефективності роботи якого, в значній мірі, залежить ефективність інженерного рішення, і, саме тому, розгляд надалі методів фізико-математичного моделювання процесів у тепломасообмінних апаратах-утилізаторах і основ інженерного проектування, рішення завдань і наукових проблем тепломасообміну установок, систем, пристроїв утилізації теплоти є актуальним на наш час.

Результати. Підвищення загальної ефективності теплоутилізаційних установок, пристрою, системи - тепломасообмінний апарат.

Ключові слова: форсунка, форсункова камера, система, пристрій, установка, ефективність, тепло- і масообмін, фактори.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-75-83

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Теплоутилізаційні установки, призначені для сприйняття теплової енергії від ВЕР, можна розділити на два види: теплові насоси, що забезпечують збільшення потенціалу робочої речовини, і тепло утилізатори теплообмінники безпосередньої дії. Теплообмінники - теплоутилізатори можуть використовуватись тільки в тому випадку, якщо потенціал ВЕР вище потенціалу того середовища, яким передається тепла енергія. Існують різні класифікації теплоутилізаторів теплообмінників. У даній роботі прийнята класифікація, по якій теплоутилізатори-теплообмінники підрозділяються на три групи: 1) теплоутилізатори із проміжним теплоносієм; 2) регенеративні теплоутилізатори; 3) повітроповітряні (повітрорідинні) рекуперативні теплоутилізатори.

При всім різноманітті конструктивних рішень утилізаторів теплоти в кожному з них є наступні елементи: середовище - джерело теплової енергії; теплоприймач - теплообмінник, що сприймає тепло від джерела; теплопередатчик-теплообмінник, що передає теплову енергію споживачеві; робоча речовина, що транспортує теплову енергію від джерела до споживача. У регенеративних й повітро-повітряних (повітро-рідинних) рекуперативних теплоутилізаторах робочою речовиною є самі теплообмінні середовища [1-7].

Аналіз досліджень та публікацій. Певний інтерес представляє термодинамічний аналіз роботи теплоутилізаторів, що дозволяє встановити термодинамічну спільність і розходження процесів що протікають у них. В Т-s-координатах, як відомо, для загального випадку - теплоутилізатори із проміжним теплоносієм при однофазних робочих речовинах термодинамічний процес зображується в області або рідкої, або газоподібної фази, стан робочої речовини в циркуляційному насосі міняється незначно й можна думати що точки (крапки), що зображують стан робочої речовини на виході з теплоприймача й на вході в теплопередатчик, а також на виході з теплопередатчика й на вході в теплоприймач практично збігаються. Тоді зміна стану

робочої речовини в теплообмінниках зображується практично співпадаючими лініями, що проходять по напрямках $p = \text{const}$ (звичайно вказується і зміна стану середовища джерела й споживача теплоти).

Одна з можливих форм термодинамічної оцінки процесів, що протікають в утилізаторах теплоти, складається у визначенні відношення переданої теплової потужності, що витрачена на здійснення процесу. Оскільки в утилізаторах теплоти з насосами витрати потужності значно менше, ніж в утилізаторах теплоти з компресорами, для них це відношення вище. Звичайно, цей висновок не можна приймати як остаточний, адже в установках з тепловими насосами зменшується необхідна теплообмінна поверхня. Доцільність застосування кожного конкретного типу теплоутилізатора варто встановлювати на основі техніко-економічних розрахунків.

Основним елементом будь-якої теплоутилізаційної установки, пристрою, системи є тепломасообмінний апарат, від ефективності його роботи, у значній мірі, залежить ефективність інженерного рішення наукової задачі, проблеми. У зв'язку із цим надалі розглянемо методи фізико-математичного моделювання процесів у тепломасообмінних апаратах-утилізаторах і основи інженерного проектування установок, систем, пристрою утилізації теплоти, вирішення наукових задач і проблеми. Нагадаємо, що для теплоутилізаційних установок (патент України №55206А "Пристрій для мокрої грануляції металургійних шлаків", патент України №42199А й №44003А, відповідно: "Пристрій для мокрого гасіння коксу" і "Система для мокрого гасіння розжареного коксу") найбільш кращим прийнято вважати застосування контактних апаратів виконаних на базі "форсунок камер" [1-8].

Постановка задачі. Методи термодинамічного й фізико-математичного опису процесів в утилізаторах теплоти. Загальна постановка завдання. Розгляд процесів тепломасообміну в теплоутилізаторах систем, пристроїв, установок зустрічає значні труднощі, що змушує вводити в опис картини процесів спрощуючі передумови і часто обмежуватися чисто експериментальними результатами. У свою чергу, існує велика кількість різних експериментальних даних отриманих для тепломасообмінних апаратів, у яких робоче тіло (РТ) (речовина): пара, парогазова суміш і гази взаємодіють шляхом контакту з нагрітими або охолодженими поверхнями, водою, розчинами й т.д., в одних апаратах робоча речовина проходить уздовж нерухомих або рухомих оребрених поверхонь або через насадки, в інші продувається через "дощовий" простір із краплями різної дисперсності, в третій вода (розчини) стікає по поверхні у вигляді плівки, утворюючи спінений шар, хвилясту або гладку вільну поверхню. Взаємний напрямок потоків середовищ, що обмінюються, і тривалість їхньої взаємодії можуть бути досить різними [6, 7].

Викладення матеріалу і результати. При розгляді загальної фізико-математичної картини процесу взаємний вплив окремих явищ і факторів встановлюється в логічній послідовності звичайно прийнятої в теорії тепло- і масообміну.

Першочерговим є визначення термодинамічних потенціалів і інших характеристик стану тепломасообмінних середовищ - робочих речовин (тіл (РТ)), а також сили генеруючи потоки теплоти й маси в обмінній системі - апаратах утилізації теплоти. Потім необхідно виявити рівноважні стани середовищ, що обмінюються (робочими речовини (тіла (РТ))) у системі при їх різних кількісних співвідношеннях і параметрах. При розрахунках тепломасообмінних апаратів потрібно знати проміжні стани газів, пари, парогазової суміші, води й розчинів у процесі переходу від довільного початкового стану до деякого рівноважного кінцевого. Для розгляду динаміки таких процесів необхідні рівняння тепломасообміну і відповідні балансові рівняння середовищ, що обмінюються. Таким чином, для загальної фізико-математичної постановки завдання необхідні [6]:

термодинамічні рівняння стану середовищ - робочих речовин (тіл (РТ)) і рівняння їхнього рівноважного стану в розглянутій системі;

рівняння тепломасообміну між середовищами й відповідні їм балансові рівняння.

Ці рівняння можуть бути записані в диференціальній формі або явному виді. У ряді випадків вони можуть бути записані у вигляді системи рівнянь, іноді деякі з них вдається об'єднати.

Основні положення термодинаміки стану робочих речовин. Метою розрахунків теплоутилізаторов є визначення показників стану робочих тіл (РТ) і потоків обміну теплоти й маси РТ у теплоутилізаторах з термодинамічної точки зору являють собою гомогенні або гетерогенні системи. До гомогенних, як відомо, відносять ті системи, хімічний склад і фізичні властивості яких у всіх їх частинах однакові або змінюються безупинно без стрибка від однієї крапки до іншої, а

до гетерогенних - системи складаються із двох або більше різних гомогенних областей. Гомогенні області в гетерогенній системі є її компонентами або фазами її компонентів. Після поділу гетерогенної системи на компоненти й фази представляється можливим її повний опис. Компоненти й фази характеризуються енергією, ентальпією, ентропією й ін.

Загальні поняття про основні види фізико-математичного опису процесів тепло- і масопереносу в утилізаторах теплоти. Процеси тепло- і масопереносу, що протікають у тепломасообмінних апаратах описується з різним ступенем точності. Прийняті при фізико-математичному описі спрощення пов'язані з недостатнім знанням суті процесів, що протікають, неможливістю або більшою складністю рішення рівнянь що використовуються, а також бажанням спростити інженерні методи розрахунку.

Як правило, будь-який фізико-математичний опис вимагає попереднього визначення деяких експериментальних величин, що характеризують процес. Реалізація більш точного фізико-математичного опису вимагає меншої кількості експериментальних даних.

До основних видів фізико-математичного опису процесів тепло- і масопереносу в теплообмінних апаратах, розташованих у порядку зменшення точності відтворення реальних процесів, відносяться: опис на основі рівнянь Рейнольдса; на основі рівнянь пограничного шару; на основі одномірної моделі переносу (α -модель) [6-11].

Видам фізико-математичного опису властиві характерні тільки для них поняття.

Опис процесів на основі одномірного переносу (α -модель). Досить складним методом, що вимагають знання турбулентних характеристик потоків, які практично вкрай складно встановити, віддають перевагу методам, які засновані не на встановленні розподілу параметрів тепло- і масообмінних середовищ, а на встановленні величин теплових потоків і середніх температур. Останні, знайшли широке розповсюдження не тільки в наукових, але і у практичних і інженерних завданнях. У зв'язку вище сказаним широке розповсюдження отримало представлення процесу на основі одномірного процесу переносу, що припускає розгляд плинину потоку з постійною по перетині каналу швидкістю, температурою й концентрацією компонентів, рівним середньомасовим значенням.

Зв'язок між потоками теплоти q і маси β_p через одиницю поверхні і середньомасовою температурою чи потенціалом стану компонента встановлюється наступними співвідношеннями [6-11]

$$q = \alpha(t_{нов} - t); \beta_h = \alpha_\theta(\theta_{нов} - \theta),$$

де $t_{нов}$, t і $\theta_{нов}$, θ – відповідно температура і потенціал стану компонента в граничному шарі у поверхні й в потоці рідини.

Замість потенціалів стану при розрахунку можна використовувати й концентрації, які в комплексі з коефіцієнтами вище вказаних рівнянь, носять назву коефіцієнтів тепло- і масообміну. Вони враховують різницю реальних процесів й одномірної моделі і можуть бути отримані з рівняння Нав'є-Стокса, рівнянь збереження маси і рівнянь Рейнольдса [2, 5-11]:

$$\text{рівнянь руху} \quad \frac{\partial w}{\partial \tau} + \frac{1}{2} \frac{\partial (w^2)}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \phi_x + \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta \frac{w^2}{2} \right),$$

де ϕ_x – проекція щільності масових сил на ось x ; ζ – коефіцієнт втрат енергії при русі рідини в каналі;

$$\text{рівняння нерозривності} \quad \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial x} = 0;$$

$$\text{рівняння балансу теплової енергії} \quad \frac{1}{w} \frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\alpha_t F^{yo}}{(cp)_t w f} (t_{нов} - t);$$

$$\text{рівняння балансу маси речовини} \quad \frac{1}{w} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\alpha_\theta F^{yo}}{(cp)_\theta w f} (\theta_{нов} - \theta),$$

де F^{yo} – площа поверхні, що проходить з 1 м довжини, м²/м.

Для вологого повітря замість останнього рівняння може бути використане рівняння балансу вологи. У випадку якщо розглядається поверхня огородження з розподілим по товщині температурним потенціалом вологості.

У деяких випадках тепло- і масопереносу крім зазначених, варто вирішувати рівняння нестационарної теплопровідності й вологопровідності. Для тонкої стінки розподіленістю параметрів по її товщині можна не враховувати.

Розрахунки, з застосуванням одномірної моделі, виконують із введенням коефіцієнтів обміну і втрат енергії, пов'язаними з реальними процесами що протікають в тривимірних течіях, складними залежностями що встановлюються експериментально. Для цього необхідно рішення рівнянь збереження теплової енергії, рівняння збереження маси речовини та рівнянь прикордонного шару. Рішення цих рівнянь дозволяє визначити поля температур і концентрацій. Тоді локальні коефіцієнти обміну для законів Фур'є і Фіка можуть бути визначені по наступних залежностях, відповідно [6-11]

$$\alpha_t = -\frac{\lambda_t \partial t / \partial \tau}{t_{нов} - t}; \quad \alpha_\theta = -\frac{\lambda_\theta \partial \theta / \partial \tau}{\theta_{нов} - \theta}.$$

На основі даних зміни температури рідини вздовж поверхні й температури поверхні можливо визначити середнє значення коефіцієнта α .

Для випадку (задачі) тепло- і масообміну між двома рідинами, розділеними стінкою, одномірна модель, при одномірному розподілі температур в стінці, дозволяє розподіляти тепловий потік без попереднього визначення температур проміжних шарів.

Із умови стаціонарності і рівномірності розподілу температур в стінці слідує [6-11]

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\sum_{i=1}^{2n} \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta}{\lambda_i}} = (t_1 - t_2)k; \quad k = \frac{1}{\sum_{i=1}^{2n} \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta}{\lambda_i}}.$$

Процес обміну теплом рідин, що розділені стінкою, називають теплопередачею і характеризують коефіцієнтом теплопередачі k , що слідує з одномірної стаціонарної моделі при одномірному розподілі температур в розділяючих стінках, в деяких випадках необхідні додаткові роз'яснення.

Моделі тепло- і масообміну в апаратах утилізації теплоти. Процеси, що протікають у теплообмінних апаратах, можуть бути сталими й нестационарними. Сталим називають процес, у якому всі термодинамічні параметри стану в будь-якій точці (крапці) тепломасообмінного апарата зберігаються постійними в часі.

При складанні рівнянь для елементів простору (метод Ейлера) формальною ознакою, що відрізняє опис сталих процесів від нестационарних є відсутність у перших рівняннях часу. При математичному описі сталого процесу, виходячи з розгляду руху окремих часток (метод Лагранжа), рівняння будуть містити час.

Найбільше наочно сформульовані положення можна проілюструвати на прикладі роботи тепломасообмінного апарата на базі "форсункової камери". У форсунковій камері тепло- і масоперенос відбувається між газами, парами, парогазової сумішшю й окремими краплями, що переміщуються в просторі де розприскується вода. Якщо, у тривалому плинні часу, у форсункову камеру подавати постійні витрати води, газів, пари, парогазової суміші з постійними параметрами, то в камері встановиться стаціонарний режим, при якому в будь-якій її точці термодинамічні параметри стану, вологовміст, а також температура крапель рідини залишаються постійними. У той же час, якщо розглядати рух крапель або окремих мас пари, газів, парогазової суміші в обсязі камери, то їхні параметри природно будуть мінятися по ходу руху. Таким чином, поняття сталого процесу є умовним у тому розумінні, що в цьому процесі стаціонарний стан у просторі існує в умовах, коли параметри тепло- і масообмінних середовищ залишаються не постійними в часі.

Строго говорячи, що усталеного стану в роботі тепломасообмінних апаратів не існує. Однак, зміни параметрів зовнішнього клімату, робочих середовищ і т.п., що впливають на процеси тепло- і масопереносу в тепломасообмінних апаратах установок, пристроїв, систем утилізації теплоти, протікають звичайно істотно повільніше чим процеси в самих апаратах.

Так, наприклад, для більшості оребрених теплообмінників перехід з одного сталого стану в інший супроводжується виникнення збурювання триває 20 і більше хв. Внаслідок цього модель сталого режиму забезпечує необхідну точність при рішенні інженерних завдань. До таких завдань відносять підбір теплообмінників, що виконується для деяких найбільш складних умов,

іменованих розрахунковими: річний і сезонний енергетичний аналіз роботи тепломасообмінних апаратів та ін. У той же час існує більша група завдань, рішення яких вимагає застосування нестаціонарної моделі. До таких завдань відносять розрахунок перехідних процесів у самих тепломасообмінних апаратах, необхідний для правильного вибору систем автоматичного керування (наприклад, термовологосним режимом установки для апаратів УКП) [6-11].

Розглянуті вище фізико-математичні постановки завдань дозволяють вирішити завдання розрахунку теплообмінника в сталому й у нестаціонарному режимі.

Незважаючи на істотні розходження тепломасообмінних апаратів, що використовуються в установках, пристроях, системах утилізації теплоти, є можливість виділити кілька основних розрахункових фізико-математичних моделей, що описують процеси тепломасообміну. Цей підхід, крім чисто методологічних достоїнств, має ще одну важливу перевагу: він дозволяє створювати систему автоматизованого розрахунку теплоутилизаторів (САРТ): розрахунок фізико-математичних моделей або моделі вхідних у САРТ у вигляді однієї або декількох підпрограм, які можуть бути й у комплексі використані для автоматизованого розрахунку установок, систем, пристроїв теплоутилізації на основі розроблених алгоритму та методики визначення параметрів (на ЕОМ, ПЕОМ та ін.) наприклад, для установок, пристроїв і систем утилізації теплоти процесів мокрого гасіння коксу [6-11].

Розрахункові фізико-математичні моделі визначення параметрів теплоутилизаторів класифікуються по трьох ознаках: характеристиці процесів тепло- і масопереносу; формі опису тепло- і масопереносу; формі опису термодинамічних зв'язків між функціями стану; характеру взаємного руху тепло- і масообмінних середовищ.

Залежно від характеристики процесів тепло- і масопереносу розрізняють наступні моделі [6-11]: 1) модель теплопередачі через поділяючу потоки стінку, у тому числі оребрену (ТП-модель). За допомогою цієї моделі розраховують процеси переносу в повітрянагрівачах, конденсаторах теплових насосів, повітроохолоджувачах, що працюють без конденсації пари з вологого повітря, геліоприймачах і т.д.; 2) модель тепло- і масопереносу на поверхні розглянута при безпосередньому контакті двох робочих тіл - рідини та повітря (ТМО-модель); 3) модель теплопередачі через поділяючу потоки стінку (оребрену) при наявності тепло- і масообміну на одній або обох поверхнях стінки (ТМП-модель).

Залежно від форми опису термодинамічних зв'язків між функціями стану розділяють наступні два види розрахункових моделей [6-11]:

лінійна модель - якщо параметри масообмінних середовищ міняються в певних межах, що можливо лінеаризацію термодинамічних зв'язків, то в цьому випадку завдання розрахунку тепло- і масообміну зводиться до рішення лінійних диференціальних рівнянь. Лінійна модель використовується також при розрахунку теплопередачі не ускладненої масообміном (ТП-модель);

нелінійна модель - при описі процесів що протікають спільно, тепло- і масопереносу використовують нелінійні термодинамічні зв'язки, наприклад між вологовмістом повітря і його температурою, у тому розумінні, що вологовміст змінюється зі зміною температури нелінійно. У результаті і диференціальні рівняння, що описують процеси тепло- і масопереносу, виявляються нелінійними.

Залежно від характеру взаємного руху тепло- і масообмінних середовищ розрізняють моделі прямої, протитічної й перекрестнотічної. У перехресній схемі кожна з масообмінних середовищ може не перемішуватися по ходу руху. Це означає, що параметри рідин будуть мінятися по двох координатах. Можлива перехресна схема, у якій одне тепло- і масообмінне середовище переміщується, а інше не переміщується. У системах утилізації теплоти по ходу руху газів, пари, парогазової суміші, можуть установлюватися тепломасообмінники, що з'єднують по прямої-перехресних або протитічно-перехресній і ін. схемах.

Граничні рівновісні стани робочих тіл у теплообмінниках. Тепло- і масообмінні апарати часто являють собою термодинамічну систему ізольовану від зовнішнього середовища, за винятком входів і виходів робочих тіл (РТ). Через входи здійснюється підведення енергії й маси від зовнішнього середовища до даної системи, а через виходи - їх відвід.

Стан робочих тіл (РТ) на входах в систему змінюють детерміновано у вигляді заданих функцій часу або стохастично, за законами випадкових функцій. Зокрема, стани робочих тіл (РТ) на входах в систему можуть залишатися постійними (сталій режим роботи тепломасообмінних апаратів).

Усередині системи взаємодія РТ відбувається уздовж поділяючої стінки або поверхні-границі розділу РТ. Тривалість взаємодії РТ, в систем, пропорційна довжини границі розділу середовищ РТ. Якщо тривалість взаємодії РТ або, що то ж саме довжина поверхні розділу РТ в системі прагне до нескінченності, то стан РТ прагне до деякого рівноважного, так званому граничному стану. Це граничний рівноважний стан залежить тільки від початкових параметрів і взаємного розташування входів і виходів у системі, тобто від особливостей системи на границі, і не залежить від умов, що складаються усередині її. Тому основні параметри РТ, що перебувають у рівноважному стані, можуть бути визначені незалежно від тепломасообмінних процесів що протікають усередині неї. У теплоутилізаторах систем, пристроїв, установок розглядаються процеси, що протікають між газами, парами, парогазовою сумішшю й рідиною (водою), що й спричиняється застосування отриманих залежностей для даних умов тепломасообміну [6, 7].

Граничні рівновісні параметри стану робочих тіл у теплообмінниках. У ТМО-моделях відбувається перенос не тільки явної теплоти, але й мас пари між парогазовою сумішшю та прикордонним шаром насиченого газу і рідини (води), а отже і теплоти пароутворення. У граничному рівноважному стані параметри стану парогазової суміші й у прикордонному шарі над рідиною наближаються до однієї і тієї ж величини, причому витрати парогазової суміші набагато менше витрат зрошувальної рідини (води).

Узагальнені безрозмірні показники й рішення завдань сталого тепло- і масопереносу в теплоутилізаторах. Якщо тепломасообмінний апарат має кінцеві розміри, то параметри РТ, на виході з нього займають деяке проміжне положення між параметрами на вході в тепломасообмінний апарат і параметрами граничного рівноважного стану.

Звідси слідує важливий висновок про те, що процес тепло- і масопереносу в тепломасообмінних апаратах можна розглядати як перехідний від деякого нерівноважного початкового стану до деякого проміжного стану стосовно граничного рівноважного стану. При цьому виявляється що для розрахунку тепломасообмінних апаратів зручно користуватися безрозмірним розглядом параметрів тепло- і масообмінних середовищ у перехідному процесі, як це робиться при розрахунку процесів нестационарної теплопередачі. Відносні перепади потенціалів стану для довільного перетину тепломасообмінного апарата.

Підвищення загальної ефективності теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла. Завдання підвищення загальної ефективності різних теплоенергетичних установок, їхніх теплових схем установок, систем пристроїв утилізації тепла, от далеко не повний перелік актуальних питань, наукових задач і проблеми, рішення яких неможливо без розробки спеціальних методик рішення інженерно-технічних завдань, актуальних наукових задач і проблеми проектування й будівництва контактних тепломасообмінних апаратів.

Параметри ефективності утилізації тепла в тепломасообмінному апараті практично визначені дослідним шляхом на експериментальній моделі і установлені впливи факторів тепломасообміну на інтенсивність процесів конденсації і охолодження парогазового потоку з урахуванням первинних даних, отриманих у результаті аналізу процесів тепломасообміну в елементах установок, систем, пристрою утилізації теплоти. Такий підхід дозволив установити точні співвідношення між різними факторами тепломасообміну в контактному тепломасообмінному апараті установок, систем, пристрою утилізації тепла [1-7].

Проведені експериментальні дослідження тепломасообміну процесів контактного тепломасообміну в контактному тепломасообмінному апараті, для конденсаційно-охолоджувального пристрою, установки, системи, пристрою утилізації тепла, дозволили визначити значення складових теплових і масових балансових рівнянь для характеристичного елемента в якості якого був прийнятий одиничний конструктивний елемент форсункової камери - тангенціальну механічну форсунку й одиничний об'єм форсункової камери (ФК) у зоні її дії, визначені додаткові умови для поширення результатів експериментів на характеристичні елементи форсункових камер промислової технології, які засновані на виконанні вимог теорії подоби для критеріїв і коефіцієнтів, які включені в модель і характеризують якісні параметри роботи форсунок [6-11].

Тепломасообмін при безпосередньому контакті парогазової суміші і води, виникає в умовах розходження потенціалів температур і тисків між умовним центром парогазового потоку і шаром парогазової суміші, що прилягає до поверхні теплоносія. Виходячи з умови охолодження парогазової суміші й конденсації пари, у шарі в поверхні теплоносія, парогазову суміш

приймаємо насиченою, при заданому тиску p_w і температурі t_w . Охолодження парогазової суміші та конденсація пари досягається розпиленням охолодженого теплоносія і як наслідок, перезволоженням, перенасиченням парогазового потоку, середній тиск парогазової суміші залишається при цьому незмінним. Потік маси водяних пар, під впливом різниці потенціалів тисків $\Delta p_n = p_w - p_n$, спрямований до поверхні води, а потік "осушеного" газу змішуючись із парогазовою сумішшю, направляється у зворотну сторону, причому водяні пари вільно дифундують у парогазову суміш.

Підвищення температури теплоносія на виході із контактного апарата протікає за рахунок дії наступних факторів [6-11]:

в результаті контакту теплоносія і парогазової суміші при $t_{nzc} > t_w$, що відповідає умовам охолодження парогазової суміші, «явне» тепло передається від парогазової суміші теплоносію;

вдоль поверхні контакту теплоносія утворюється простір, в якому парогазова суміш знаходиться в стані насичення і перенасичення, що відповідає умовам конденсації пари з парогазової суміші, при цьому тепловиділення фазових перетворень (переходів) пара «скрита» теплота, передається теплоносію, що веде до його нагріву [6-11];

в результаті конденсації пари із парогазової суміші утворюється конденсат, який має температуру фазового переходу при тиску насичення, змішуючись з теплоносієм, він підвищує його температуру на виході з контактної апарату [6-11].

Для складення балансового рівняння для потоків тепла і маси в конденсаційно-охолоджувальному пристрої системи, пристрою, установки, з теплоутилізатором на базі «форсункових камер», спочатку встановлюємо розподіл потоків тепло і маси в секціях контактної апарату на базі «форсункових камер». Потік «явної» теплоти, приведений до поверхні контакту, при наявності температурного напору між взаємодіючими середовищами в контактному апараті $\Delta t = t - t_w$ описується рівнянням [6-11], кВт

$$dQ_{я} = -G \times c_p \times dt = \alpha \times (t - t_w) dF.$$

Потік маси також спрямований від парогазової суміші до теплоносія і обумовлює зниження вмісту пари в парогазовій суміші [6-11], кг/с

$$dG_{\theta} = -G \times f(g_k) = \beta_p \times (p_n - p_w) dF,$$

де β_p і α – коефіцієнти що обумовлюють відповідно перенос тепла і мас при контактному тепломасообміні, $\text{кг/Па} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^2$ ($\text{кг/м}^2 \cdot \text{год}$ (кг/м^2)) і $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, відповідно; G – витрата парогазової суміші в секції, кг/с ; dG_{θ} – приріст витрати теплоносія за рахунок притоку конденсату, кг/с ; dF – площа контакту, м^2 ; c_p – теплоємність парогазової суміші, $\text{кДж/кг} \cdot \text{°К}$.

В процесі конденсації пара з парогазової суміші, виділяється теплота фазового переходу [6-11], кВт

$$dQ_r = dG_{\theta} \times r,$$

де $(G_{\theta}) g_k$ – витрата конденсату в ФК ($Q_r = g_k \times r$, кВт), кг/с ; r – теплота фазового перетворення - $r = 2501,43 - 2,304 t_w$, кДж/кг , при температурі насичення пари t_w .

Потік тепла конденсату, що виноситься з теплоносієм з секції контактної апарату, описується наступним виразом, кВт

$$dQ_k = g_k c_w dt_k,$$

де g_k – витрата конденсату на виході із апарату, кг/с ; dt_k – зміна температури конденсату від температури фазового переходу до температури на виході з апарату, $^{\circ}\text{C}$, а притік до теплоносія «скритої» і «явної» теплоти, і конденсату підвищує його температуру і збільшує витрату на виході із секції контактної апарату, кВт

$$dQ_w = G_w c_w dt_w + g_k c_w dt_k,$$

де G – витрата парогазової суміші, кг/с ; G_w – витрата води, кг/год ; c_w – теплоємність води, $\text{кДж/кг} \cdot \text{°C}$.

Інтегрування виразу в інтервалі зміни температури парогазової суміші через поверхню контакту F [6-11], кВт

$$Q_{я} = - \int_{t_1}^{t_2} G c_p dt = -G c_p (t_1 - t_2). \quad (1)$$

Кількість тепла, що передається від парогазової суміші до води визначається інтегруванням виразу в межах зміни температури води від t_w , до t_w2 і температури конденсації t_k до t_w2 по

поверхні контакту F , кВт

$$Q_w = - \int_{t_{w1}}^{t_{w2}} G_w c_w dt_w + \int_{t_{w2}}^{t_K} g_k c_w dt_k = G_w c_w (t_{w2} - t_{w1}) + g_k c_w (t_K - t_{w2}), \quad (2)$$

де t_{w2} – температура теплоносія на виході з секції контактного апарата, °С, визначається із співвідношення витрат конденсату і зрошувальної води.

Рівняння теплового балансу для секції в конденсаційно-охолоджувальному пристрої установки, пристрою, системи з теплоутилізатором на базі «форсункових камер», с врахуванням формул (див. вище) приведений до поверхні контакту F має вигляд, кВт

$$G_{nc} (t_1 - t_2) + g_k r_k = G_w c_w \left((t_{w2} - t_{w1}) + \frac{g_k}{G_w} (t_K - t_{w2}) \right). \quad (3)$$

Балансові рівняння тепломасообміну, виведені для випадку тепломасообміну в конденсаційно-охолоджувальному пристрої установки, системи пристрою з теплоутилізатором на базі "форсункових камер", є базовими при отриманні співвідношень між факторами тепломасообміну в процесі експериментальних досліджень на експериментальній моделі конденсаційно-охолоджувального пристрою. Незважаючи на спрощення, прийняті при одержанні балансових рівнянь для контактного апарата, це не позначиться на точності методики розрахунку що розробляється, тому показники ступенів і величини критеріїв, певні експериментальним шляхом за результатами статистичної обробки даних, нівелюють погрішності пов'язані із прийнятими спрощеннями, також у роботах [6-11] представлені і теоретична база і представлені результати експериментів засновані на використанні фізико-математичної моделі одномірного переносу теплоти та маси (α -модель) стосовно до характеристичного елемента "форсункової камери", представленої в пунктах 1.3, 2.3-2.5 робіт [6-11].

Висновки і напрями подальших досліджень. Підвищення загальної ефективності теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла, наукове завдання, проблема підвищення загальної ефективності різних теплоенергетичних установок, їх теплових схем установок, систем пристроїв утилізації теплоти, от далеко не повний перелік актуальних питань, наукових задач і проблеми, рішення яких неможливо без розробки спеціальних методик рішення інженерно-технічних завдань, актуальних наукових задач і проблеми проектування й будівництва контактних тепломасообмінних апаратів.

Узагальнено безрозмірні показники й рішення завдань сталого тепло- і масопереносу в теплоутилізаторах. Розглянуто граничні рівновісні параметри стану робочих тіл у теплообмінниках і моделі тепло- і масообміну в апаратах утилізації теплоти. Наведено опис процесів на основі одномірного переносу (α -модель). Наведено основні положення термодинаміки стану робочих речовин. Викладено методи термодинамічного й фізико-математичного опису процесів в утилізаторах теплоти і загальна постановка завдання.

Список літератури

1. Суртаєв В.В. Високотемпературні некаталітичні нейтралізатори вихлопних газів ДВЗ – ефективний спосіб боротьби з автомобільними забрудненнями / В зб. Розвиток промисловості та суспільства // Матеріали конференції. Том 1.- Кривий Ріг, 2016. – С. 188.
2. Деклараційний патент України №58925А. Пристрій для знешкодження шкідливих викидів двигунів внутрішнього згоряння. /Суртаєв В.В., Суртаєв В. М. Бюл.№ 8.- 15.08.2003.
3. Деклараційний патент України №49452А. Пристрій для знешкодження шкідливих викидів автомобільних двигунів внутрішнього згоряння./ Суртаєв В.В., Суртаєв В.М. Бюл.№ 9.- 16.09.2002.
4. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Нагнітачі і теплові двигуни» для студентів спеціальності 6.050601 – теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2015, 56 с., Р № 681.
5. Деклараційний патент на корисну модель №10948. Система сухого подрібнення матеріалів./ Суртаєв В.В., Суртаєв В.М., Ведута М.М., Осадчук Ю.Г. Бюл.№ 12.- 15.12.2005.
6. Підвищення ефективності утилізації теплоти при мокрому гасінні коксу. /Дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук., Суртаєва В.В. за спеціальністю 05.14.06. - «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. 2008.
7. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Джерела тепло енергопостачання промислових підприємств» для студентів спеціальності 6.050601 – Теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 9 с., Р № 175.

8. Суртаєв В.В. Практикум з дисципліни «Системи виробництва і розподілу енергоносіїв» для студентів пряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» всіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 16 с., Р № 165.

9. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Системи виробництва і розподілу енергоносіїв» для студентів спеціальності 6.050601– Теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 9 с., Р № 176.

10. Суртаєв В.В. Практикум з дисципліни «Надійність теплоенергетичних систем» для студентів спеціальності 7.05060101, 8.05060101 «Теплоенергетика» всіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 19 с., Р № 83.

11. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Надійність теплоенергетичних систем» для студентів спеціальності 7.05060101, 8.05060101– Теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 8 с., Р № 177

Рукопис подано до редакції 16.10.2020

УДК 614.841

М.В. ДОМНІЧЕВ, О.В. НЕСТЕРЕНКО, кандидати техн. наук, доценти,

О.Ю. БЛИЗНЮКОВА, канд. техн. наук, асист.

Криворізький національний університет

В.М. МАРИЧ, ст. викл.

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗАХИСТУ ПРАЦІВНИКІВ ОФІСНИХ ПРИМІЩЕНЬ

Мета. Метою даної роботи є проведення аналізу існуючої ситуації з пожежами в нашій державі, визначення основних небезпек та вибір моделей засобів індивідуального захисту для офісних працівників.

Методи дослідження. Теоретичний метод дослідження на основі обробки і інтерпретації статистики та порівняння ефективності запропонованих заходів.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є прикладне дослідження захисту працівників невинних приміщень від факторів пожежі при застосуванні різних респіраторів.

Практична значимість. Запропоновано використання нових фільтруючих респіраторів з метою зменшення ризику отруєння продуктами згорання працівників невинних приміщень.

Результати. Вплив небезпечних і шкідливих факторів пожежі обумовлює погіршення стану здоров'я, втрату працездатності та може нести загрозу життю працівника.

Важливу роль у зменшенні числа загиблих і отруєних на пожежах працівників відіграє підбір і впровадження індивідуальних засобів захисту. Використання організаційних заходів спрямованих на попередження пожеж і мінімізацію наслідків, не завжди дають очікуваний ефект, що вимагає використовувати інші способи і засоби захисту працівників від шкідливих і небезпечних факторів пожежі.

У цьому випадку використовуються засоби індивідуального захисту від дії шкідливих і небезпечних факторів. Використання респіраторів дозволяє знизити вплив на працівника цих факторів і запобігти отруєнню чи загибелі.

Сучасним засобом захисту від факторів пожежі можуть бути фільтруючі респіратори, що не лише захищають органи дихання працівника, а також його очі, шкірні покриви та волосся на голові. При цьому вони мають такі переваги як невелику вагу, гарний огляд, простоту використання а також мінімальний опір диханню.

Все це в комплексі, дозволяє рекомендувати такі респіратори для використання під час проведення евакуації працівників невинних приміщень а також при виконання короткочасних робіт.

Ключові слова: пожежа, респіратор, безпека, гази, засоби індивідуального захисту.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-83-91

Проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Дослідження сучасного стану пожежної безпеки в Україні актуалізує широке коло проблем, пов'язаних із пізнанням загальних закономірностей щодо небезпек для працівників офісних приміщень, що є важливою проблемою в рамках сучасних умов.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання пожежної безпеки в Україні взагалі і визначення основних шкідливих і небезпечних факторів, що можуть мати вплив на працівників офісних (ширше – невинних приміщень), зокрема, є надзвичайно актуальною науково-практичною задачею, яка потребує вирішення.

Ця проблема, є актуальною для усіх частин нашої держави, через широке розповсюдження такого типу приміщень. І якщо питання боротьби з рудниковими пожежами [1-4] та пожежами на промислових та будівельних майданчиках [5-6] досить широко розглядалися нашими шановними колегами, то питання безпеки офісних працівників, потребує особливої уваги та деякої зміни акцентів, для його вирішення.

Наявні матеріали [7-8] розглядають проблему пожежної безпеки в цілому, без виокремлення питань захисту від пожеж працівників невинуватих приміщень, або дають загальні рекомендації, щодо поведінки під час пожежі.

Все це, спонукає нас, розглянути питання захисту працівників невинуватих або ж офісних приміщень від шкідливих і небезпечних факторів, що можуть впливати на них у випадку виникнення пожежі.

Постановка задачі. Метою даної статті є аналіз пожежної ситуації в нашій державі, визначення основних загроз працівникам офісних приміщень-пособів та засобів їхнього захисту у разі пожежі. Для цього необхідно проаналізувати стан пожежної безпеки в Україні та дати огляд засобів і способів захисту працівників.

Викладення матеріалу та результати. Питання пожежної безпеки, для нашої держави є надзвичайно актуальним через комбінацію цілого спектру причин. Це і зношеність інфраструктури, в т.ч. так званих об'єктів «критичної інфраструктури», і недофінансування сил і засобів протипожежного захисту, і почасти нехтування керівництвом підприємств, установ та організацій чинного законодавства з питань як охорони праці так і цивільної і пожежної безпеки.

Особливо гостро ця проблема стоїть перед підприємствами невинуватих сфери, сфери послуг тощо. Це пояснюється тим, що такі підприємства порівняно нечасто піддаються перевіркам з боку контролюючих органів, а персонал таких приміщень не завжди проходить навчання в питаннях охорони праці та пожежної безпеки.

Оскільки, під час пожежі, на працівника має вплив багато шкідливих і небезпечних факторів, необхідно розглянути основні з них, що можуть привести як до різкого погіршення стану здоров'я працівника так і до його загибелі.

В першу чергу це:

погіршення стану здоров'я або смерть внаслідок вдихання токсичних продуктів згоряння;

погіршення стану здоров'я або смерть внаслідок безпосереднього впливу вогню ;

погіршення стану здоров'я або смерть внаслідок впливу на організм працівника підвищеної температури середовища;

погіршення стану здоров'я внаслідок впливу на організм працівника димів;

погіршення стану здоров'я або смерть внаслідок недостатньої кількості кисню для нормального дихання;

погіршення стану здоров'я або смерть внаслідок травм отриманих в наслідок руйнування будівельних конструкцій;

погіршення стану здоров'я або смерть внаслідок травм отриманих в наслідок вибухів, в тому числі травмування уламками устаткування, скла, будівельних конструкцій;

погіршення стану здоров'я або смерть внаслідок отруєння небезпечними речовинами, що витікають внаслідок пожежі;

погіршення стану здоров'я або смерть внаслідок травм отриманих в наслідок паніки.

Оскільки, ми вважаємо, що саме смерть працівника є максимально тяжким наслідком пожежі, необхідно розглянути і проаналізувати саме основні причини смертності та заходи, що можуть її зменшити.

Існує таке визначення, як «загиблий внаслідок пожежі - особа, смерть якої має прямий причинний зв'язок з пожежею (від тілесних ушкоджень, одержаних внаслідок впливу основних небезпечних факторів пожежі, вторинних проявів небезпечних факторів пожежі, а також механічних порушень анатомічної цілісності організму, отриманих під час евакуації з місця пожежі та її гасіння)» [9].

За допомогою відкритих джерел, ми можемо дізнатися, що «всі без винятку територіальні підрозділи ДСНС України надають інформацію щодо причин загибелі людей внаслідок пожеж» [10].

З них ми можемо довідатись, що серед основних причин смерті людей під час пожеж визначалися такі, як: отруєння чадним газом (CO); перевищення вмісту вуглекислого газу (CO₂) в

повітрі; отруєння синильною кислотою (HCN); термічні опіки; ураження електричним струмом; серцевий напад; отруєння невстановленими продуктами горіння; черепно-мозкова травма; ішемічна хвороба серця; не насильницька [10].

Проаналізувавши цей перелік, можна побачити, що з десяти основних причин смерті, чотири це отруєння продуктами згорання. А якщо прийняти версію, що проблеми з серцево-судинною системою людини можуть бути одним з можливих наслідків отруєння продуктами згорання, то тоді кількість смертей в наслідок цього сягатиме 60 %.

На рис. 1 показано питомий розподіл причин смерті на пожежах.

Рис. 1. Розподіл причин загибелі людей на пожежах

Ми не будемо брати до уваги випадки, коли смерть людини відбувалась в наслідок пожежі але не була пов'язана з нею безпосередньо, і на загиблого (померлого) не впливали вищенаведені причини.

Приклад пожежа в с. Степне, де крім безпосередніх жертв пожежі одна людина покінчила життя самогубством («На місці пожежі виявили тіла трьох загиблих – брата та двох дітей 9 та 4 років господарки будинку, яка, дізнавшись про подію, покінчила життя самогубством» [11]).

Як показує статистика, [11] динаміка загиблих на пожежах з 2010 року демонструє нам тенденцію до зниження (рис. 2), але враховуючи те, що в наслідок карантинних обмежень 2020 року, швидше за все загальмується ріст економіки нашої держави кошти, які йдуть на підтримку пожежної безпеки об'єктів будуть зменшуватися, та перенаправлятися на інші статті видатків, що в поєднанні зі значним ступенем зношеності інфраструктури, в т.ч. і «критичної», може привести до різкого збільшення кількості загиблих на пожежах. Цьому також сприятиме, збільшення перебування людей вдома, а отже збільшення навантаження на електромережі житлового фонду. Наслідком цього, може стати зміна балансу пожеж між пожежами на промислових об'єктах і в побуті.

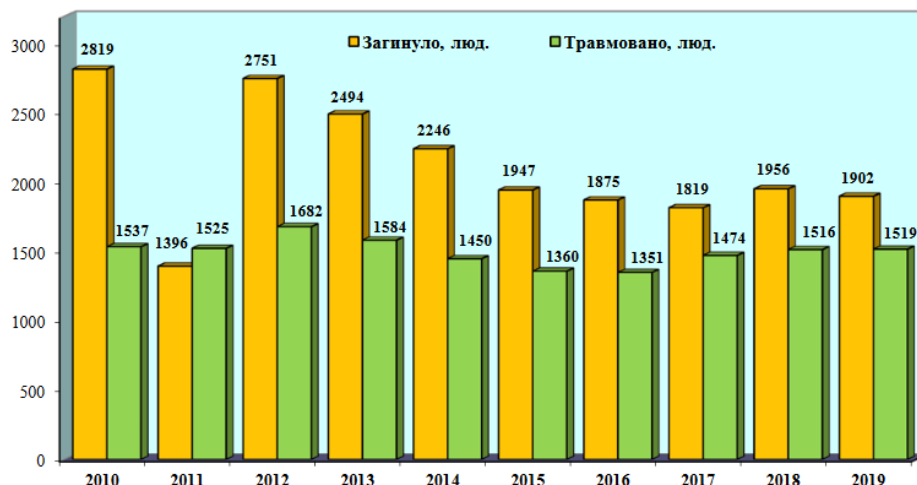


Рис. 2. Динаміка загиблих на пожежах в Україні 2010-2019 рр.

Крім загроз життю і здоров'ю працівників, пожежі характеризуються в тому числі і порівняно значними економічними збитками, згідно статистики Українського НДЦЗ, їх постійне зростання відбувається щороку (рис.3).

Виходячи з цього, запобігання виникненню пожеж, заходи спрямовані на локалізацію пожежі, недопущення її розвитку і поширенню, заходи спрямовані на зменшення тривалості та тяжкості її наслідків, є надзвичайно актуальною задачею, яка також потребує вирішення в сучасних умовах із використанням інтегрального підходу до пожежної безпеки.

На нашу думку, вони мають включати в себе заходи спрямовані як на попередження виникнення і розвитку пожеж, на локалізацію джерел займання, на порятунок людини від впливу шкідливих і небезпечних факторів пожежі а також на мінімізацію завданої шкоди об'єкту та довкіллю.

В даній роботі, ми зосередимося саме на порятунку працівників офісних приміщень від факторів пожежі (шкідливих і небезпечних).

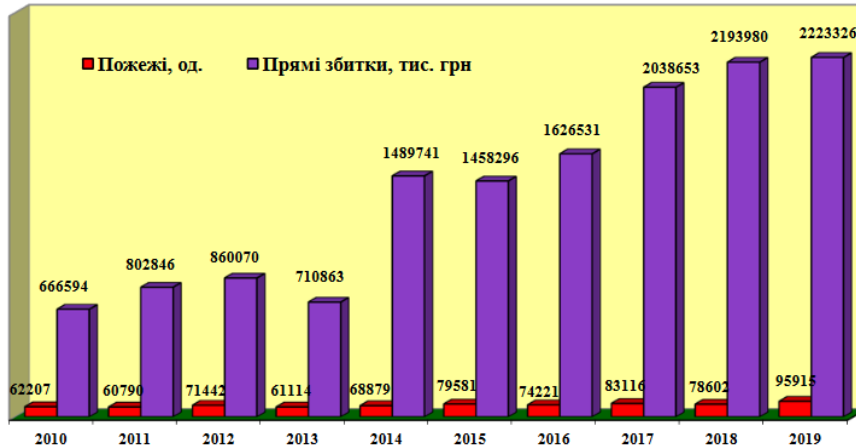


Рис. 3. Динаміка кількості пожеж і прямих збитків від них за останні 10 років

Нами буде розглянуто основні засоби і способи вирішення актуальної практичної задачі – порятунку і захисту працівників від шкідливого і небезпечного впливу факторів пожежі. Буде розглянуто та визначено їх основні переваги і недоліки, та окреслено один з елементів інтегральної системи пожежної безпеки, яка буде складатися з декількох основних сегментів, які будуть взаємодоповнювати одне одного, сприяючи підвищенню ступеню пожежної безпеки підприємства.

Така система і рекомендації з її побудови на підприємстві буде розглянута в наступних роботах, в яких буде визначено основні окремі сегменти, необхідні для її побудови і сталого функціонування для досягнення основної мети – забезпечення безпеки працівників.

Для нашого (Дніпр. обл.) регіону, таке завдання, є надзвичайно актуальним, оскільки наша область, за даними Українського НДІЦЗ, за кількістю загиблих та травмованих два останні роки посідає перше місце в Україні (рис. 4, 5).

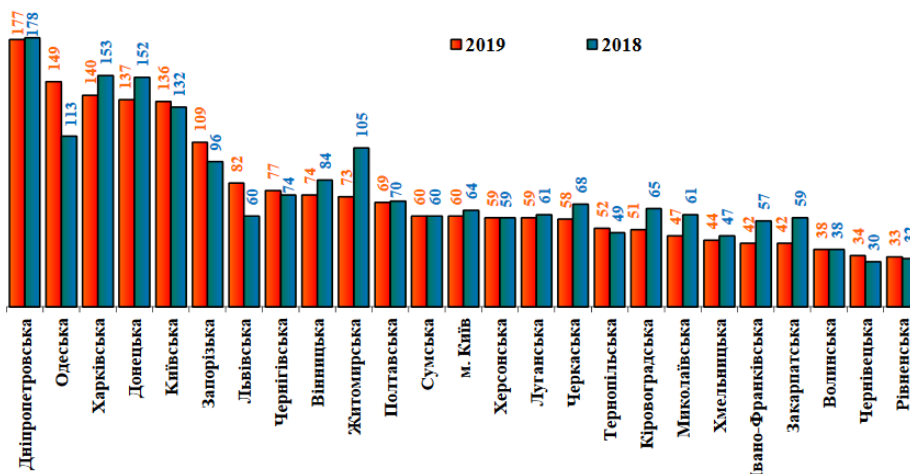


Рис. 4. Ранжирування регіонів України за абсолютною кількістю загиблих у наслідок пожеж людей у 2019 році у порівнянні з 2018 роком

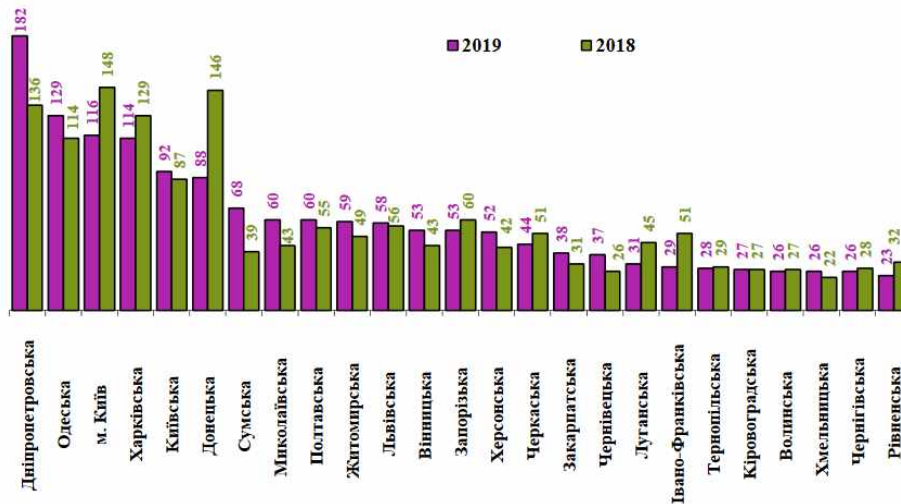


Рис. 5. Розподіл регіонів України за абсолютною кількістю травмованих людей на пожежах у 2019 році у порівнянні з 2018 роком

Цікаво відмітити, що в той час, як за сумарною кількістю пожеж, за даними Українського НДЦЗ, наша область перебуває на другому місці в Україні (рис. 6) за прямими збитками вона знаходиться лише на сьомому місці (рис. 7).

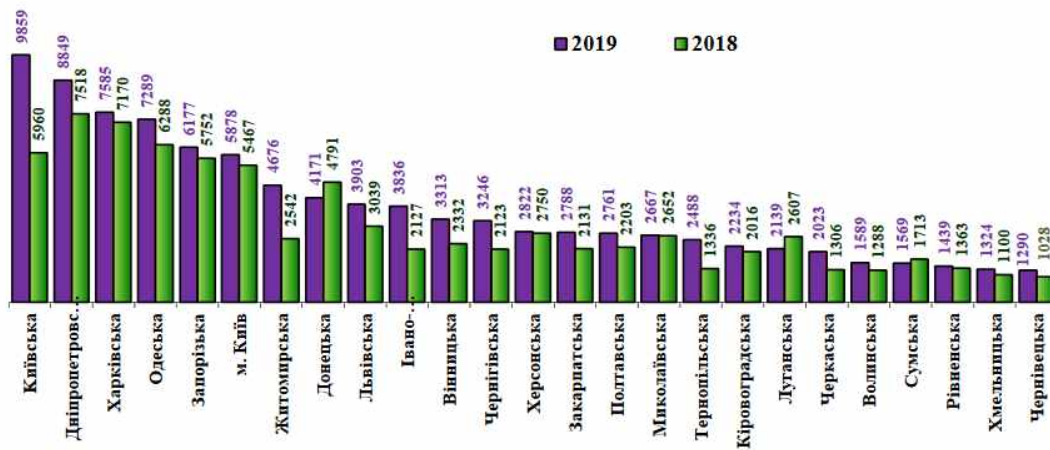


Рис. 6. Ранжирування регіонів України за абсолютною кількістю пожеж за 2019 рік у порівнянні з 2018 роком

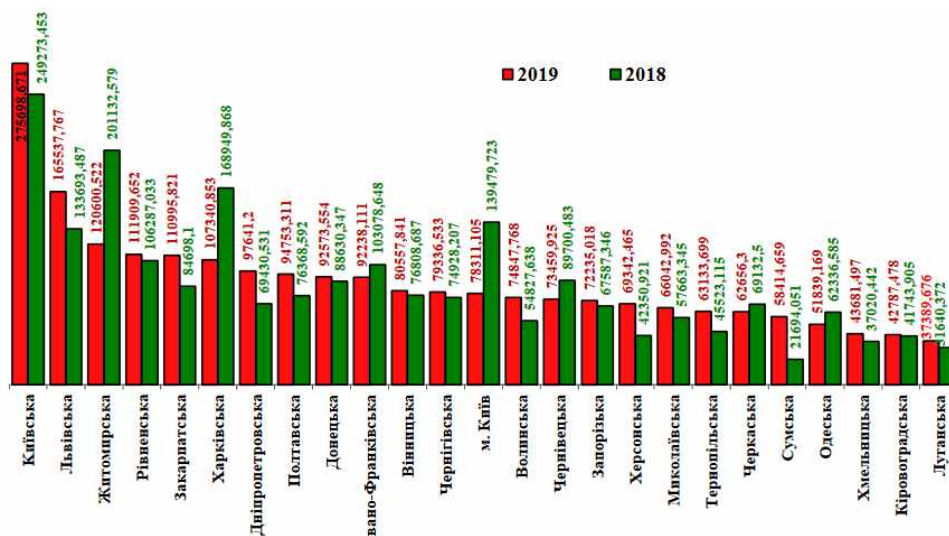


Рис. 7. Ранжирування регіонів України за абсолютною кількістю прямих збитків, завданих пожежами, по регіонах України за 2019 рік у порівнянні з 2018 роком

В той же час, за кількістю пожеж на об'єктах, на яких «здійснюються заходи державного нагляду (контролю) у сфері пожежної безпеки», наша область, за даними Українського НДЦЗ, знову ж таки посідає «почесне» друге місце (рис.8).

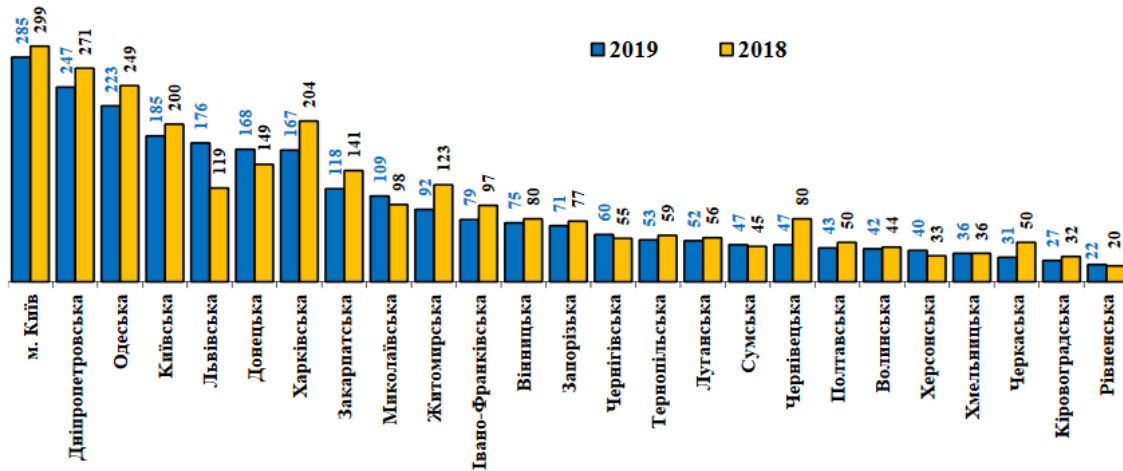


Рис. 8. Розподіл регіонів України за абсолютною кількістю пожеж на об'єктах, на яких здійснюється державний нагляд, у 2019 році порівняно з 2018 роком

Як показує аналіз статистики, Українського НДЦЗ, саме в нашому регіоні, проблема пожежної безпеки є надзвичайно актуальною і потребує від нас проведення оцінювання ефективності заходів і засобів, які б дозволили знизити кількість загиблих і постраждалих під час пожеж.

Для визначення основних шляхів удосконалення системи пожежної безпеки та захисту працівників від факторів пожежі, необхідно визначити, не лише основні причини пожеж в нашій державі, а і те, які з них є найбільш небезпечними в умовах невиробничих приміщень.

Так, за даними Українського НДЦЗ, на першому місці у нашій державі, стоять пожежі викликані необережним поведінням з вогнем (рис. 9).

В той же час, якщо ми будемо розглядати не просто всі випадки пожеж в Україні безвідносно місця виникнення, а лише ті, які сталися на підприємствах, в установах, організаціях, то тоді розподіл причин пожеж буде виглядати дещо по іншому.



Рис. 9. Питова вага пожеж в Україні за причинами їх виникнення за 2019 рік

В такому випадку, на перше місце буде виходити така причина як «Порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок» (рис.10) [11].

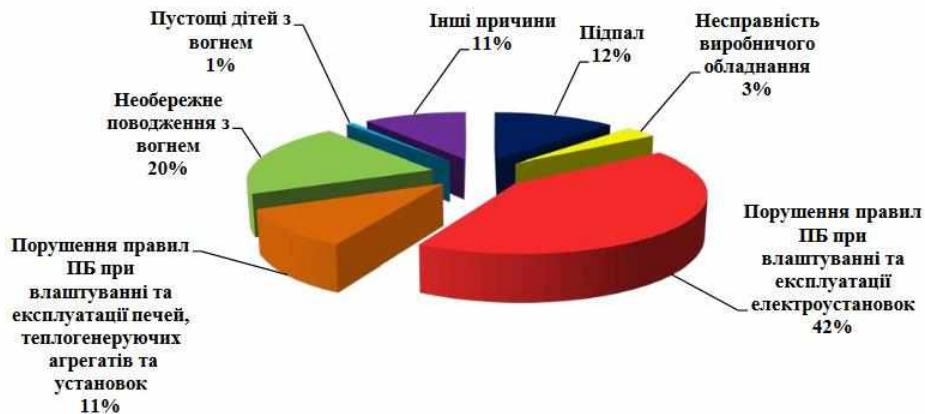


Рис. 10. Розподіл відносної кількості пожеж в Україні за причинами виникнення на підприємствах, в організаціях закладах за 2019 рік

Тобто, аналіз «Розподілу відносної кількості пожеж в Україні за причинами виникнення на підприємствах, в організаціях закладах за 2019 рік» визначає основною причиною пожеж для невиробничих приміщень, саме порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні і експлуатації електроустановок.

Основні види порушень правил експлуатації електричних приладів і електромереж :

- перенавантаження електромереж;

- використання електроприладів і устаткування не призначеного для використання в електромережах такого типу;

- використання електроприладів сумнівної якості, несправних електроприладів або саморобних електроприладів (дуже часто це стосується побутових електроприладів, в тому числі нагрівальних приладів);

- пошкодження електричних дротів, розеток тощо, використання пошкоджених розеток. інші причини.

Виходячи з того, що саме в офісних приміщеннях використовується значна кількість електроустановок та електроприладів, ми можемо стверджувати, що саме ця боротьба з цією причиною пожеж є надзвичайно актуальною на сьогодні.

Як показує статистика [12] основною причиною загибелі людини на пожежах, є отруєння СО — 85-90%. Виходячи з цього, необхідно визначити оптимальні заходи спрямовані на вирішення даної проблеми, а саме захисту працівників від шкідливого впливу даного газу. На нашу думку, оптимальним варіантом, буде використання засобів індивідуального, які дозволять провести безпечну евакуацію персоналу з приміщення.

Як відомо засоби індивідуального захисту органів дихання, «це спеціальні технічні пристрої, що забезпечують захист органів дихання людини від шкідливих виробничих та інших чинників» (С).

Тому перед нами буде стояти завдання визначення як засобів, придатних для вирішення цього завдання так і вибір оптимального засобу захисту органів дихання.

Необхідно розглянути усі переваги і недоліки, з огляду на їхні характеристики :

- простота використання,
- можливість швидкого приведення до робочого стану,
- можливість використання в умовах підвищених температур,
- можливість використання слабованченим персоналом.

Тому для вирішення цього завдання у нас є можливість використовувати такі засоби захисту органів дихання як: респіратори; протигази; саморятувальники.

На нашу думку, виходячи з аналізу наявної інформації [13-16], використання саморятувальників і протигазів для захисту працівників від шкідливого і небезпечного впливу отруйних речовин, що утворюються в процесі горіння недоцільно, не дивлячись на їх високу ефективність.

Ми вважаємо, що на перешкоді використанню шахтних саморятувальників, при їх порівняно високій ефективності, буде стояти достатньо висока вартість, яка коливається в межах від 1000 грн за ШСМ-30 і до майже 5000 грн за Сi-30 KS[17].

Використання протигазів, також не є оптимальним рішенням, не зважаючи на їхню почасти невисоку ціну [18], з огляду на невисоку ефективність звичайних фільтруючих коробок цивільних фільтруючих протигазів і порівняно високу вартість, складність у використанні під час стресу та відносно великі габаритні розміри і вагу протигазів ізолюючих.

Тому, ми вважаємо, що для захисту працівників офісних приміщень від шкідливої та небезпечної дії токсичних речовин, що можуть утворюватися під час пожеж [19], доцільно буде використовувати респіратори призначені в першу чергу для захисту від отруєння чадним газом.

Розглянувши варіанти представлені на українському ринку [20], ми вважаємо, що оптимальним варіантом, для забезпечення безпеки офісних працівників, буде використання фільтруючих респіраторів типу ShengAn TZL 30 FireEscapeHood [21], (рис.11).

Опис та основні характеристики респіратору [21] подано нижче:

«протипожежна маска є респіраторним захисним пристроєм для захисту від диму, окису вуглецю (CO), ціаніду водню (HCN), хлориду водню (HCl), вогню та теплового випромінювання; пристрій розрахований на 30 хвилин роботи. Еластична неопренова стрічка підходить для різних розмірів обхвату ворота, полікарбонатна оглядова мембрана забезпечує чітку видимість; відповідає стандарту GB для очищення повітря дихальних захисних пристроїв. Пристрій протигазу дозволяє надягати маску менш ніж за 30 сек.;

застосовується в побутових умовах для захисту від пилу, фарби, пестицидів та ін, на будівництві, в металургії, на військових об'єктах, при надзвичайних ситуаціях».

Фільтруючий респіратор An TZL-30, має наступні характеристики:

матеріал: алюмінієва армована фольга;

час роботи: 30 хвилин;

захист від: окис вуглецю (CO), ціанід водню (HCN), хлорид водню (HCl)

коефіцієнт проникності туману: <5 %;

опір вдихання: <800 Па;

опір видиху: <300 Па.



Рис.11. Фільтруючий респіратор An TZL-30

Крім перерахованих характеристик респіратора, необхідно відмітити простоту використання, захист органів зору (і голови в цілому) від дії не лише продуктів згоряння а і від високих температур, що особливо актуально для жінок, що зазвичай носять довге волосся, яке дуже добре спалахує при контактах з відкритим вогнем. Також необхідно відмітити порівняно невисоку ціну респіратора, яка коливається в межах 300-400 грн, що дуже важливо з точки зору економії коштів при закупівлі їх в значних кількостях[22].

Висновки та напрямок подальших досліджень. В процесі виконання роботи, визначено високу актуальність проблеми пожежної безпеки як для нашої країни в цілому так і для нашого регіону зокрема. Також проведено огляд основних небезпек для працівника, що можуть мати вплив на його життя і здоров'я в наслідок виникнення пожежі та визначено основні причини пожеж характерні для наших умов.

Враховуючи статистичні дані з одного боку, та опрацювавши значну кількість відкритих джерел з іншого, нами було визначено оптимальні засоби захисту органів дихання від факторів пожежі та обрано варіант придатний для проведення евакуації слабонавченого персоналу з приміщення.

Список літератури

1. Аналіз способів і засобів гасіння рудникових пожеж / **Н. Ю. Швагер, О. В. Нестеренко, Т. А. Комісаренко, М. В. Домнічев** // Вісник Криворізького національного університету. - 2018. - Вип. 46. - С. 131-137
2. Розгляд технологій гасіння шахтних пожеж / **Н. Ю. Швагер, Т. А. Комісаренко, О. В. Нестеренко** // Вісник Криворізького національного університету. - 2019. - Вип. 48. - С. 126-132.
3. **Булгаков Ю.Ф.** Тушение пожаров в угольных шахтах. – Донецк: НИИГД, 2001. – 280 с.

4. **Костенко В.К.** Предупреждение и тушение подземных эндогенных пожаров в труднодоступных местах: монография / **В.К. Костенко, Ю.Ф. Булгаков, С.В. Подкопаев и др.** – Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2010. – 253 с.
5. **Шаповалов В. А.** Забезпечення пожежної безпеки на будівельних майданчиках / **В. А. Шаповалов** // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2017. – Вип. 45. – С. 178–185.
6. **Євстратенко І.А., Ошмянський І.Б., Євстратенко Л.І.** Гірничорятувальна справа на гірничорудних підприємствах – Кривий Ріг, Діоніс (ФОП Чернявський Д.О.), 2012. – 338 с.
7. **Бедрій Я.** «Охорона праці та пожежна безпека : навчальний посібник для студентів ВНЗ та інженерів-практиків» / **Я. Бедрій** – Тернопіль : Навчальна книга, Богдан 2013. – 184 с.
8. Пожежна безпека: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти України. Автор: **Рожков А.П.** / Вид-во: Київ: Пожінформтехніка / Рік: 1999 / С. 256
9. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку обліку пожеж та їх наслідків». Сайт Верховної Ради України [Електронне джерело] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2030-2003-%D0%BF>
10. **І.О. Харченко, Токсичність продуктів горіння – основна причина загибелі людей унаслідок пожеж. Харченко І.О., Климась Р.В., Скоробагатько Т.В.** // Актуальные проблемы транспортной медицины No 4 (6), - 2006 г. 41-45 с.
11. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 2019 рік. Загальні дані про пожежі. Сайт Український науково-дослідний інститут цивільного захисту (УкрНДЦЗ) [Електронне джерело] https://undicz.dsns.gov.ua/files/2020/1/27/Analitichna%20dovidka%20pro%20pojeji_12.2019.pdf
12. Фільтруючий протигаз Цивільного Захисту «Трайал» — надійний захист при пожежі. Сайт журналу «Охорона праці та пожежна безпека» [Електронне джерело] <http://oppb.com.ua/ziz/filtruyuchyuy-protygaz-cyvilnogo-zahystu-trayal-nadiynuy-zahyst-pry-pozhezhi>
13. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Сайт журналу «Служба охорони праці». [Електронне джерело] <https://www.sop.com.ua/article/808-zasobi-ndividualnogo-zahistu-organv-dihannya>
14. Організація аварійно-рятувальних робіт. Сайт «Університет цивільного захисту України». [Електронне джерело] <https://nuczu.edu.ua/images/menu/it-tehnologii/publish/9761.html>
15. Фільтруючий протигаз Цивільного Захисту «Трайал» — надійний захист при пожежі. Сайт журналу «Охорона праці та пожежна безпека» [Електронне джерело] <http://oppb.com.ua/ziz/filtruyuchyuy-protygaz-cyvilnogo-zahystu-trayal-nadiynuy-zahyst-pry-pozhezhi>
16. **Швагер Н. Ю.** Огляд респіраторів, що використовують в гірничорудній галузі / **Н. Ю. Швагер, Т. А. Комісаренко, О. В. Нестеренко, М. В. Домнічев, І. А. Нестеренко** // Вісник Криворізького національного університету. - 2017. - Вип. 45. - С. 103-109
17. Самоспасатель в Україні. Сайт продажу товарів «Prom.ua» [Електронне джерело] <https://prom.ua/ua/Samospasatel.html>
18. Противогаз ГП-5. Сайт «WATEROPT - магазин сантехники и полива». [Електронне джерело] <https://wateropt.com.ua/grazhdanskije-protivogazy/5550-protivogaz-gp-5.html>
19. **Нестеренко О. В.** Токсикологічна та пожежна безпека будівельних матеріалів / **О. В. Нестеренко, В. Г. Зайцева, Г. О. Чернищенко** // Науковий вісник будівництва. - 2020. - Т. 99, № 1. - С. 143-148
20. Респіратори в Україні. Сайт Zakupka.com [Електронне джерело] <https://zakupka.com/t/respiratory-650/>
21. Панорамний фільтруючий респіратор противогаз ShengAn TZL-30 от угарного газагражданский. Сайт продажу товарів «Prom.ua». [Електронне джерело] <https://prom.ua/ua/p1249639804-panoramnyj-filtruyuschij-respirator.html?>
22. Противопожарная маска на 30 минут (противогаз, распиратор) ShengAn TZL30. Сайт Интернет-магазин «Розетка™» [Електронне джерело] <https://rozetka.com.ua/ua/185194920/p185194920/>

Рукопис подано до редакції 16.10.2020

АНОТАЦІЇ

УДК 622.831.242.4

Власов С.Ф., Молдаванов Є.В. Результати аналізу характеру розподілу конвергенції в лаві під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» в умовах шахт Західного Донбасу

Мета. Виконати аналіз закономірностей розподілу конвергенції в лаві під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу», які сталися за причини наявності у покрівлях вугільних пластів потужних пісковиків, на підставі комплексу зібраних даних геологічного прогнозу шахт Західного Донбасу, а також результатів моделювання покровового переміщення очисного вибою в просторовій геомеханічній моделі виїмкової ділянки. На основі аналізу отримати та описати рівняння характеру розподілу величин зближення бічних порід.

Методи дослідження. В роботі застосовано метод комп'ютерного моделювання геомеханічних процесів навколо очисного вибою, що базується на чисельному математичному методі скінчених елементів (МСЕ) за критерієм міцності Мора-Кулона.

Наукова новизна. В результаті проведення геомеханічного моделювання руху очисного вибою вперше встановлено закономірності характеру розподілу величин конвергенції в лаві, під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу». А саме, встановлено, що зміна величин конвергенції має характер розподілу Пуассона, а також Гаусса, або нормального розподілу. Характер розподілу величин також описано рівняннями. Встановлення закономірностей дозволить в подальшому обґрунтувати раціональні параметри відпрацювання вугільних пластів з метою підвищення ефективності видобутку кам'яного вугілля на шахтах Західного Донбасу.

Практичне значення. Аналіз закономірностей розподілу конвергенції уздовж лави під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» дозволить обґрунтувати й розробити раціональні параметри очисного виймання, з урахуванням мінливих параметрів залягання пісковика у покрівлі, задля попередження, а також зведення до мінімуму аварійних зупинок очисних вибоїв на шахт Західного Донбасу.

Результати. Виконано моделювання покровових переміщень очисних вибоїв в просторовій геомеханічній моделі, на підставі яких встановлено закономірності характеру розподілу конвергенції в лаві під час посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу», які трапились в реальних умовах шахт Західного Донбасу останнім часом. Наведено порівняння результатів моделювання та фактичних даних, зібраних на підприємствах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Ключові слова. Відстань міжпластя, вугільний пласт, глибина розробки, конвергенція, лава, покрівля пласта, посадка «на жорстку базу», потужність шарів.

Власов С.Ф., Молдаванов Е.В. Результаты анализа характера распределения конвергенции в лаве во время посадки секций механизированной крепи «на жесткую базу» в условиях шахт Западного Донбасса

Цель. Выполнить анализ закономерностей распределения конвергенции в лаве во время посадки секций механизированной крепи «на жесткую базу», которая произошла из-за наличия в кровле угольного пласта мощных песчаников, на основании комплекса собранных данных геологического прогноза шахт Западного Донбасса, а также результатов моделирования пошагового перемещения очистного забоя в пространственной геомеханической модели выемочного участка. На основании анализа получить, а также описать уравнением характер распределения величин сближения боковых пород.

Методы исследования. В работе использован метод компьютерного моделирования геомеханических процессов в зоне ведения очистных работ, который базируется на численном математическом методе конечных элементов (МКЭ) по критерию прочности Мора-Кулона.

Научная новизна. В результате проведения геомеханического моделирования движения очистного забоя впервые установлены закономерности характера распределения величин конвергенции в лаве во время посадки секций механизированной крепи «на жесткую базу». А именно, установлено, что изменение величин конвергенции имеет характер распределения Пуассона, а также Гаусса, или нормального распределения. Характер распределения величин также описан уравнениями. Установление закономерностей позволит в дальнейшем обосновать рациональные параметры отработки угольных пластов с целью повышения эффективности добычи каменного угля на шахтах Западного Донбасса.

Практическое значение. Анализ закономерностей распределения конвергенции вдоль лавы во время посадки секций механизированной крепи «на жесткую базу» позволит обосновать и разработать рациональные параметры очистной выемки, с учетом меняющихся параметров залегания песчаников в кровле, с целью предупреждения, а также сведения к минимуму аварийных остановок очистных забоев шахт Западного Донбасса.

Результаты. Выполнено моделирование пошаговых перемещений очистных забоев в пространственной геомеханической модели, на основании которых установлено закономерности характера распределения конвергенции в лаве во время посадки секций механизированной крепи «на жесткую базу», которые произошли в реальных условиях шахт Западного Донбасса за последнее время. Представлено сравнение результатов моделирования, а также фактических данных, собранных на предприятиях ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь».

Ключевые слова. Конвергенция, лава, кровля пласта, угольный пласт, глубина разработки, мощность слоев, расстояние междупласты, посадка «на жесткую базу».

Vlasov S., Moldavanov Y. PhD Results of the analysis of the nature of the convergence distribution in the longwall during the landing of the mechanized mounting sections «on a hard base» in the Western Donbass

Purpose. To analyze the patterns of convergence distribution in the lava during the landing of mechanized fastening sections "on a hard base", due to the presence in the roof of coal seams of powerful sandstones, based on a set of collected data of geological forecast of Western Donbass mines, models of the excavation area. On the basis of the analysis to receive and describe the equations of character of distribution of sizes of convergence of lateral breeds.

Methods. The method of computer modeling of geomechanical processes around the clearing face is used, which is based on the numerical mathematical finite element method (FEM) by the Moore-Coulomb criterion.

Scientific novelty. As a result of geomechanical modeling of the movement of the clearing face, for the first time the regularities of the nature of the distribution of convergence values in the lava during the landing of the sections of mechanized fastening "on a hard base" were established. Namely, it is established that the change in the values of convergence has the character of the Poisson distribution, as well as the Gaussian distribution, or the normal distribution. The nature of the distribution of quantities is described by the equation. Establishing patterns will increase the efficiency and accuracy of the results of geomechanical forecasting, to obtain objective and more accurate technological parameters, as well as increase the efficiency of coal mining in the Western Donbass.

Practical implications. Analysis of the regularities of convergence distribution along the lava during landing of mechanized fastening sections will allow to substantiate and develop rational parameters of cleaning excavation, taking into account the variable presence of sandstone in the roof, to prevent and minimize emergency stops of culverts.

Results. Modeling of stepwise displacements of clearing faces in the spatial geomechanical model is performed, on the basis of which the regularity of the nature of convergence distribution in lava during landing of sections of mechanized fastening "on a hard base" which happened in real conditions of mines of Western Donbass recently is established. A comparison of modeling results and actual data collected at DTEK Pavlogradcoal enterprises is presented.

Keywords. Convergence, longwall, seam roof, coal seam, depth of development, thickness of layers, distance between layers, landing "on a hard base".

УДК 528.48

Анненков А.О. Застосування методу нейронних мереж при геодезичному моніторингу інженерних споруд

Мета. Метою даної роботи є аналіз використання штучних нейронних мереж при геодезичному моніторингу інженерних споруд, а також знаходження оптимальної кількості нейронів, які максимально точно та якісно характеризують деформаційний процес.

Методи. Дослідження виконувалось на комплексі промислових об'єктів ММК «Азовсталь», де була створена геодезична система моніторингу інженерних споруд комбінату. Система складається з наступних елементів: 3 опорних геодезичних пункта примусового центрування у вигляді металевих трубчастих опор; 12 осадочних реперів, які закріплені у цоколь будівлі; 25 деформаційних марок, розташованих на несучих конструкціях будівлі; нівелір; тахеометр. На протязі 2,5 років виконувалось спостереження за деформаціями будівель та споруд з виявленням вертикальних осадок та планових здвигів споруд. Результати зйомок були оброблені спочатку стандартними функціями математичної статистики, а потім за допомогою методу нейронних мереж. Для цього використовувався модуль MATLAB. Була створена ШНМ, виконано її навчання, проведено моделювання та тестування, вибрані входні, скриті та вихідні нейрони. У якості нейронної мережі прийнята мережа радіальних базисних ліній. Оцінка роботи ШНМ була виконана за допомогою матриці неточностей.

Наукова новизна. Досліджено найбільш придатну для моніторингу споруд ШНМ радіальних базисних ліній та визначена оптимальна кількість нейронів, які з максимальною точністю описують деформаційний стан споруди.

Практична значимість. Наукові дослідження використовуються в системах геодезичного моніторингу крупних промислових об'єктів Української індустрії.

Результати. Отримані результати дозволяють стверджувати, що оптимальною кількістю нейронів у прихованому шарі є 10. За таких умов забезпечується практично однакова точність апроксимації даних (СКП = 1,5 мм), точність підтвердження моделі (СКП = 1,5 мм) та точність перевірки моделі (СКП = 3,1 мм). При збільшенні кількості нейронів, практично необмежено підвищується точність апроксимації, проте точність перевірки моделі стрімко знижується. Для кількості нейронів рівній розміру вибірки СКП перевірки моделі перевищує 15 мм. Загалом, модель на 10-ти нейронах правильно відтворює коливальний характер деформаційного процесу і за умови включення до цієї моделі додаткових даних (дія технологічного обладнання, коливання температури тощо) дозволяє найбільш повно і достовірно описати деформаційний процес.

Ключові слова: моніторинг споруд, деформація будівельної конструкції, штучна нейронна мережа.

Анненков А.А. Применение метода нейронных сетей при геодезическом мониторинге инженерных сооружений

Цель. Целью данной работы является анализ использования искусственных нейронных сетей (ИНС) при геодезическом мониторинге инженерных сооружений, а также нахождение оптимального количества нейронов, которые максимально точно и качественно характеризуют деформационный процесс.

Методы. Исследование выполнялось на комплексе промышленных объектов ММК «Азовсталь», где была создана геодезическая система мониторинга инженерных сооружений комбината. Система состоит из следующих элементов: 3 опорных геодезических пункта принудительного центрирования в виде металлических трубчатых опор; 12 осадочных реперов, которые закреплены в цоколь здания; 25 деформационных марок, расположенных на несущих конструкциях здания; нивелир; тахеометр. В течение 2,5 лет выполнялись наблюдения за деформациями зданий и сооружений с выявлением вертикальных осадок и плановых сдвигов сооружений. Результаты съемок были обработаны сначала стандартными функциями математической статистики, а затем с помощью метода нейронных сетей. Для этого использовался модуль MATLAB. Была создана ИНС, выполнено ее обучение, проведено моделирование и тестирование, выбраны входные, скрытые и выходные нейроны. В качестве нейронной сети принята сеть радиальных базисных линий. Оценка работы ИНС была выполнена с помощью матрицы неточностей.

Научная новизна. Исследована наиболее подходящая для мониторинга сооружений ИНС радиальных базисных линий и определено оптимальное количество нейронов, которые с максимальной точностью описывают деформационное состояние сооружения.

Практическая значимость. Научные исследования используются в системах геодезического мониторинга крупных промышленных объектов Украинской индустрии.

Результаты. Полученные результаты позволяют утверждать, что оптимальным количеством нейронов в скрытом слое является 10. При таких условиях обеспечивается практически одинаковая точность аппроксимации данных (СКП = 1,5 мм), точность подтверждения модели (СКП = 1,5 мм) и точность проверки модели (СКП = 3,1 мм). При

увеличении количества нейронов, практически неограниченно повышается точность аппроксимации, однако точность проверки модели стремительно снижается. Для количества нейронов равной размера выборки СКП проверки модели превышает 15 мм. Таким образом, модель из 10-ти нейронов максимально точно воспроизводит колебательный характер деформационного процесса и при условии включения этой модели дополнительных данных (действие технологического оборудования, колебания температуры и т.п.) позволяет наиболее полно и достоверно описать деформационный процесс.

Ключевые слова: мониторинг сооружений, деформация строительной конструкции, искусственная нейронная сеть.

Annenkov A. Application of the neural networks method in geodetic monitoring of engineering structures

Purpose. The purpose of the study is to analyze the use of artificial neural networks (ANN) in geodetic monitoring of engineering structures, as well as to find the optimal number of neurons that characterize the deformation process in the most accurate and qualitative way.

Methods. The research was conducted at the complex of industrial facilities of Iron and steel works 'Azovstal', where there was created a geodetic system for engineering structures monitoring of the plant. The system is composed of the following elements: 3 geodetic control points of the forced centering in the form of steel tubular poles; 12 precipitation benchmarks placed in the base of the building; 25 deformation marks placed on the load-bearing structures of the building; batter level; total station. Deformations of buildings and structures were observed for 2.5 years detecting the vertical precipitations and planned displacements of structures. The survey results were processed first by standard mathematical statistics functions and then by the neural networks method. The MATLAB module was used for this purpose. There was created ANN and it was studied, simulated and tested. There were selected input, hidden and output neurons. A network of radial baselines is considered as a neural network. The evaluation of the ANN performance was conducted by using the inaccuracies matrix.

Academic novelty. There was investigated the most suitable for monitoring of ANN structures of radial baselines and there was defined the optimal number of neurons that describe the deformation state of a structure with the maximum accuracy.

Practical significance. Scientific surveys are used in geodetic monitoring systems of large industrial facilities of Ukrainian industry.

Results. The obtained results allow us to state that the optimal number of neurons in the hidden layer is 10. Under such conditions, almost the same accuracy of data approximation (UPC = 1.5 mm), accuracy of model confirmation (RMSD= 1.5 mm) and accuracy of model verification (RMSD = 3.1 mm) are provided. By increasing the number of neurons the accuracy of the approximation increases almost indefinitely but the accuracy of model verification decreases rapidly. For the number of neurons equal to the sample size, the RMSD of the model verification exceeds 15 mm. Generally the 10 neurons model reproduces correctly the dynamic nature of the deformation process and it provides the most complete and accurate description of the deformation process with the inclusion of additional data in this model (operation of technological equipment, variation in temperature, etc.).

Keywords monitoring of structures, deformation of the building structure, artificial neural network.

УДК 622.8.012.2:658.382.3

Носаль Д.А., Трубников Ю.Н., Шевченко В.Г. Определение частоты нарушений по основным травмирующим факторам на угольных шахтах

Цель. Определение частоты нарушений по основным травмирующим факторам на угольных шахтах и установление закономерностей влияния количества нарушений, их частоты на уровень травматизма.

Методы. Анализ общего и смертельного травматизма проводился с помощью методов математической статистики, связь между параметрами устанавливалась методами регрессионного и корреляционного анализа.

Научная новизна. Впервые установлены закономерности изменения коэффициента частоты нарушений, числа нарушений и % числа несчастных случаев от количества нарушений, а также взаимосвязи между коэффициентом частоты нарушений и случаями травматизма по основным травмирующим факторам: «шахтный транспорт», «конвейерный транспорт», «машины и механизмы», «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность».

Практическая значимость. Разработана методика определения коэффициента частоты нарушений, которая учитывает число нарушений и часы проверки.

Результаты. Проведен анализ общего и смертельного травматизма предприятий ББ Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» за 2019 год по следующим основным факторам: шахтный транспорт, конвейерный транспорт, машины и механизмы, падение при передвижении, обрушение породы, падение предметов, ручной инструмент, другие факторы. Определены закономерности изменения коэффициента частоты нарушений, числа нарушений и числа несчастных случаев от количества нарушений. В целом по всем предприятиям наибольший коэффициент частоты нарушений наблюдается по факторам «машины и механизмы», «конвейерный транспорт», «шахтный транспорт», наименьший – по факторам «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность», что также характерно и для числа нарушений. % числа несчастных случаев от количества нарушений в целом и по фактору «шахтный транспорт» выше, чем по факторам «машины и механизмы» и «конвейерный транспорт». При наличии общих тенденций в превалировании нарушений по тем или иным факторам в целом для ББУ, для каждого конкретного ШУ нельзя сказать об устойчивых тенденциях изменения как коэффициента числа нарушений, числа нарушений и % числа несчастных случаев от количества нарушений. Также нельзя говорить о наличии устойчивой связи между числом нарушений и числом случаев травматизма для каждого конкретного ШУ.

Ключевые слова: безопасность, частота нарушений, случаи травматизма, травмирующие факторы, система управления охраной труда.

Носаль Д.О., Трубніков Ю.М., Шевченко В.Г. Визначення частоти порушень за основними травмуючими факторами на вугільних шахтах

Мета. Визначення частоти порушень за основними травмуючими факторами на вугільних шахтах і встановлення закономірностей впливу кількості порушень, їх частоти на рівень травматизму.

Методи. Аналіз загального і смертельного травматизму проводився за допомогою методів математичної статистики, зв'язок між параметрами встановлювалася методом регресійного і кореляційного аналізу.

Наукова новизна. Вперше встановлені закономірності зміни коефіцієнта частоти порушень, числа порушень і % числа нещасних випадків від кількості порушень, а також взаємозв'язки між коефіцієнтом частоти порушень і випадками травматизму по основними травмуючими факторами: «шахтний транспорт», «конвеєрний транспорт», «машини і механізми», «пилогазовий режим» і «вибухонебезпечність».

Практична значимість. Розроблено методику визначення коефіцієнта частоти порушень, яка враховує число порушень і години перевірок.

Результати. Проведено аналіз загального і смертельного травматизму підприємств ББ Вугілля ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО» за 2019 рік за такими основними факторами: шахтний транспорт, конвеєрний транспорт, машини і механізми, падіння при пересуванні, обваллення породи, падання предметів, ручний інструмент, інші фактори. Визначено закономірності зміни коефіцієнта частоти порушень, числа порушень і числа нещасних випадків від кількості порушень. В цілому по всіх підприємствах найбільший коефіцієнт частоти порушень спостерігається за такими чинниками «машини і механізми», «конвеєрний транспорт», «шахтний транспорт», найменший - за факторами «пилогазовий режим» і «вибухонебезпечність», що також характерно і для числа порушень. % числа нещасних випадків від кількості порушень в цілому і по фактору «шахтний транспорт» вище, ніж за факторами «машини і механізми» і «конвеєрний транспорт». При наявності загальних тенденцій в превалюванні порушень з тих чи інших факторів в цілому для ББУ, для кожного конкретного ШУ не можна сказати про стійкі тенденції зміни як коефіцієнта числа порушень, числа порушень і % числа нещасних випадків від кількості порушень. Також не можна говорити про наявність стійкого зв'язку між числом порушень і числом випадків травматизму для кожного конкретного ШУ.

Ключові слова: безпека, частота порушень, випадки травматизму, травмуючі фактори, система управління охороною праці.

Nosal'D.A., Trubnikov Yu.N., Shevchenko V.G. Determination the violations frequency by the main injury factors on coal mines

Purpose. Determination the violations frequency by the main traumatic factors on coal mines and the establishment regularities of influence of the violations number, its frequency on the injuries level.

Methods. The analysis of total and fatal injuries was carried out using mathematical statistics methods, the relationship between the parameters was established by regression and correlation analysis methods.

Scientific novelty. For the first time, regularities of changes the coefficient of violations frequency, the violations number and % the accidents number of the violations number, as well as the relationship between the coefficient of violations frequency and injuries cases for the main traumatic factors: "mine transport", "conveyor transport", "machines and mechanisms", "dust and gas regime" and "explosion safety".

Practical significance. A technique has been developed for determining the coefficient of violations frequency, which takes into account the violations number and hours of checks.

Results. The analysis of the total and fatal injuries of DTEK ENERGO LLC enterprises of Coal business unit for 2019 was carried out for the following main factors: mine transport, conveyor transport, machinery and mechanisms, falling during movement, rock collapse, falling objects, hand tools, other factors. The regularities of changing the coefficient of the violations frequency, the violations number and the accidents number of the violations number are determined. In general, for all enterprises, the largest coefficient of violations frequency is observed for the "machines and mechanisms", "conveyor transport", "mine transport" factors, the smallest - for the "dust and gas regime" and "explosion safety" factors, which is also characteristic of the violations number. % the accidents number of the violations number in general and by the "mine transport" factor is higher than by the "machines and mechanisms" and "conveyor transport" factors. If there are general trends in the prevalence of violations for one or another factor as a whole for the Coal business unit, for each particular mine department it is impossible to say about stable trends of change as a coefficient of the violations number, the violations number and % the accidents number of the violations number. Also, one cannot talk about the existence of a stable relationship between the violations number and the injuries number for each specific mine department.

Keywords: safety, violations frequency, injuries cases, traumatic factors, OSH management system.

УДК 621.929.6:622.781

Засельський В.Й., Пополов Д.В., Засельський І.В., Шепеленко М.І. Алгоритм розрахунку енергосилових витрат технічної системи «роторний змішувач-конвеєр»

Мета. Сучасні технологічні схеми металургійного виробництва передбачають підготовку шихтових матеріалів до спікання та випалу де важливою складовою є процес змішування, для якого може бути застосований роторний змішувач безперервної горизонтально-направленої дії. Мета роботи полягає в проведенні детального аналізу конструктивних робочих вузлів роторного змішувача безперервної горизонтально-направленої дії та сформувати алгоритм розрахунку енергосилових витрат, які були затрачені на формування гомогенної шихтової суміші з урахуванням вібраційного впливу на конвеєрну стрічку, яка подає матеріал на змішування.

Методи. Методика досліджень в даній науковій праці включає аналітичне дослідження яке виконувалось на основі представлення динаміки руху матеріальної точки і твердих тіл, що рухаються в вібраційній горизонтальній площині та обертаються навколо нерухомої осі з застосуванням математичного моделювання.

Наукова новизна. Вперше для технічної системи «роторний змішувач-конвеєр» отримані залежності, що пов'язують кінематичні, конструктивні параметри роторного змішувача та вібраційні коливання конвеєрної стрічки, які впливають на енергетичні витрати по змішуванню матеріалу. Також розроблена загальна методика розрахунку енергосилових витрат робочого органу змішувача. З аналізу встановлено, що застосування гнучкого тросового елемента в конструктиві роторного змішувача з додаванням вібраційного впливу на конвеєрну стрічку значно зменшить супротив другого по ходу матеріалу ротора та підвищить якість отриманої суміші.

Практична значимість. В статті наведено конструктивний вузол системи роторний змішувач безперервної горизонтально-направленої дії та стрічковий конвеєр, також запропонована методика розрахунку її енергосилових витрат. Встановлений зв'язок між кінематичними та конструктивними елементами робочого органу змішувача, висотою шару транспортуючого матеріалу та коливаннями конвеєрної стрічки, які впливають на енерговитрати при підготовці суміші.

Результати. В результаті розробки методики розрахунку визначено основні енергозатратні вузли змішувача; наведена методика розрахунку витраченої енергії при взаємодії робочих органів змішувача з шихтовим матеріалом.

Ключові слова: змішувач, матеріал, лопатка, технічний об'єкт, робочий орган, ротор, розрахунок, змішувач, технічна система, конвеєр.

Засельский В.И., Пополов Д.В., Засельский И. В., Шепеленко М.И. Алгоритм расчета энергосиловых расходов технической системы «роторный смеситель-конвейер»

Цель. Современные технологические схемы металлургического производства предусматривают подготовку шихтовых материалов до спекания и обжига, где важной составляющей является процесс смешивания, для которого может быть применен роторный смеситель непрерывного горизонтально-направленного действия. Цель работы заключается в проведении детального анализа конструктивных рабочих узлов роторного смесителя непрерывного горизонтально-направленного действия и сформировать алгоритм расчета энергосиловых расходов, которые были затрачены на формирование однородной шихтовой смеси с учетом вибрационного воздействия на конвейерную ленту, которая подает материал на смешивание.

Методы. Методика исследования в данной научной работе включает аналитическое исследование, которое выполнялось на основе представления динамики движения материальной точки и твердых тел, движущихся в вибрационной горизонтальной плоскости и одновременном вращении вокруг неподвижной оси с применением математического моделирования.

Научная новизна. Впервые для технической системы «роторный смеситель-конвейер» полученные зависимости, связывающие кинематические, конструктивные параметры роторного смесителя и вибрационные колебания конвейерной ленты, от которых влияют энергетические затраты по смешиванию материала. Также разработана общая методика расчета энергосиловых затрат рабочего органа смесителя. Из анализа установлено, что применение гибкого тросового элемента в конструктиве роторного смесителя с добавлением вибрационного воздействия на конвейерную ленту значительно уменьшит сопротивление второго по ходу материала ротора и повысит качество полученной смеси.

Практическая значимость. В статье приведенный конструктивный узел системы роторный смеситель непрерывного горизонтально-направленного действия и ленточный конвейер, также предложена методика расчета ее энергосиловых расходов. Установлена связь между кинематическими и конструктивными элементами рабочего органа смесителя, высотой слоя транспортирующего материала и колебаниями конвейерной ленты, которые влияют на энергозатраты при подготовке смеси.

Результаты. Определены основные энергозатратные узлы смесителя; приведена методика расчета затраченной энергии при взаимодействии рабочих органов смесителя с шихтовыми материалами.

Ключевые слова: смеситель, материал, лопатка, технический объект, рабочий орган, ротор, расчет, смеситель, техническая система, конвейер

Zaselskiy V. I., Popolov D. V., Zaselskiy I. V., Shepelenko M. I. Algorithm for calculation of energy-power consumptions of the technical system "rotary mixer-conveyor"

Goal. Modern technological schemes of metallurgical production provide for the preparation of charge materials before sintering and firing, where an important component is the mixing process, for which a continuous horizontal directional rotary mixer can be used. The purpose of the work is to conduct a detailed analysis of the structural working units of a continuous horizontal directional rotary mixer and form an algorithm for calculating the energy and power costs that were spent on the formation of homogeneous charge mixtures, taking into account the vibration effect on the conveyor belt, which feeds the material for mixing.

Methods. The research methodology in this scientific work includes an analytical study, which was carried out on the basis of the representation of the dynamics of motion of a material point and rigid bodies moving in a vibrational horizontal plane and simultaneous rotation around a fixed axis using mathematical modeling.

The scientific novelty. For the first time for the technical system "rotary mixer-conveyor" the obtained dependences connecting the kinematic, design parameters of the rotary mixer and vibrational vibrations of the conveyor belt, which are influenced by the energy costs for mixing the material. A general method for calculating the power consumption of the working body of the mixer has also been developed. It was found from the analysis that the use of a flexible cable element in the design of a rotary mixer with the addition of a vibration effect on the conveyor belt will significantly reduce the resistance of the second rotor along the material and increase the quality of the resulting mixture.

Practical importance. The article presents a structural unit of the system of a continuous horizontal-directional rotary mixer and a belt conveyor; a method for calculating its energy and power costs is also proposed. A connection has been established between the kinematic and structural elements of the working body of the mixer, the height of the layer of the transporting material and the vibrations of the conveyor belt, which affect the energy consumption when preparing the mixture.

Results. The main energy-consuming units of the mixer are determined; the methodology for calculating the energy expended in the interaction of the working bodies of the mixer with charge materials is presented.

Key words: mixer, material, blade, technical object, working body, rotor, calculation, mixer, technical system, conveyor

УДК 629.113

Пахомов В.И., Гирин И.В. Моделирование и оптимизация процессов текущего ремонта автомобилей

Цель. Основной целью работы является обеспечение эксплуатационной надежности подвижного состава автотранспортных предприятий за счет повышения эффективности процессов текущего ремонта с использованием раз-

работанной системы моделирования условий обслуживания при нестационарном потоке автомобилей и минимизации на ее основе суммы затрат на содержание зоны ТР и потерь от простоев автомобилей в ожидании.

Методы исследования. В работе выполнены анализ и обобщение опубликованных теоретических разработок, аналитические расчеты, статистический анализ, экономико-математическое моделирование, программно-целевой метод. Методология теоретических исследований основана на применении логических и математических методов. Также применяется ряд частных методов: аксиоматический и гипотетический методы, анализ и синтез, метод интерпретации, корреляционно-регрессионный анализ, имитационное моделирование.

Научная новизна. Научную ценность представляет предложенная на основе моделирования методика оптимизации организации постовых работ текущего ремонта автомобилей в автотранспортном предприятии, которая позволяет проектировать и реконструировать систему текущего ремонта с использованием оптимального количества постов.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики корректирования расчетного числа постов ТР с учетом неравномерности поступления автомобилей, позволяющей: - минимизировать сумму затрат от простоя автомобилей в зоне ТР и затрат от простоя постов ТР: - обоснованно распределять нагрузку на подвижный состав в АТП с учетом заданных условий эксплуатации и определять приоритеты при постановке машин на ремонтные работы.

Результаты: разработанные математическая модель и методика оптимизации объемов ТР позволяют выполнять функциональный анализ закономерностей, действующих при реализации процессов технического сервиса с использованием диагностической системы условий эксплуатации и изменения технического состояния подвижного состава; предлагаемая расчетная методика позволяет реализовать принцип индивидуального подхода к оценке условий эксплуатации и изменения технического состояния подвижного состава и использовать выявленные ранее закономерности для повышения эффективности всей системы ТР в АТП.

Ключевые слова: посты текущего ремонта, система массового обслуживания.

Пахомов В.І., Гірін І.В. Моделювання та оптимізація процесів поточного ремонту автомобілів

Мета. Основною метою роботи є забезпечення експлуатаційної надійності рухомого складу автотранспортних підприємств за рахунок підвищення ефективності процесів поточного ремонту з використанням розробленої системи моделювання умов обслуговування при нестационарному потоці автомобілів і мінімізації на її основі суми витрат на утримання зони ПР і витрат від простоїв автомобілів в очікуванні.

Методи дослідження. В роботі виконані аналіз і узагальнення опублікованих теоретичних розробок, аналітичні розрахунки, статистичний аналіз, економіко-математичне моделювання, програмно-цільовий метод. Методологія теоретичних досліджень заснована на застосуванні логічних і математичних методів. Також застосовується ряд приватних методів: аксиоматичний і гіпотетичний методи, аналіз та синтез, метод інтерпретації, кореляційно-регресійний аналіз, імітаційне моделювання

Наукова новизна. Наукову цінність представляє запропонована на основі моделювання методика оптимізації організації постових робіт поточного ремонту автомобілів в автотранспортному підприємстві, яка дозволяє проектувати і реконструювати систему поточного ремонту з використанням оптимальної кількості постів.

Практична значимість роботи полягає в розробці методики коригування розрахункового числа постів ПР з урахуванням нерівномірності надходження автомобілів, що дозволяє: мінімізувати суму витрат від простою автомобілів в зоні ПР і витрат від простою постів ПР: обґрунтовано розподіляти навантаження на рухомий склад в АТП з урахуванням заданих умов експлуатації та визначати пріоритети при постановці машин на ремонтні роботи.

Результати: розроблені математична модель і методика оптимізації обсягів ПР дозволяють виконувати функціональний аналіз закономірностей, що діють при реалізації процесів технічного сервісу з використанням діагностичної системи умов експлуатації і зміни технічного стану рухомого складу; запропонована розрахункова методика дозволяє реалізувати принцип індивідуального підходу до оцінки умов експлуатації і зміни технічного стану рухомого складу і використовувати виявлені раніше закономірності для підвищення ефективності всієї системи ПР в АТП.

Ключові слова: пости поточного ремонту, система масового обслуговування

Pakhomov V.I., Hirin I.V. Modeling and optimization of current car repairs

Purpose. The paper aims to ensure the operational reliability of the rolling stock of transport enterprises by improving the maintenance through the developed system for modeling service conditions during unsteady flow of cars and reducing the total cost of auto repair station and losses from vehicle downtime.

Research methods. The paper analyzes and summarizes published theoretical developments, analytical calculations, statistical analysis, economic and mathematical modeling, and the target-oriented method. The methodology of theoretical research is based on the logical and mathematical methods. A number of particular methods also include axiomatic and hypothetical methods, analysis and synthesis, interpretation method, correlation-regression analysis, imitation modeling.

Scientific novelty. The optimization methodology for organizing the current repair of automobiles in a transport enterprise allows to design and reconstruct a current repair system using the optimal number of auto repair stations.

Practical significance. The methodology for correcting the number of auto repair stations in view of unsteady flow of cars enables to reduce costs from vehicle downtime in the auto repair zone and the costs of auto repair station downtime; to justifiably distribute the load on the rolling stock in a transport enterprise taking into account specified operating conditions and determine priorities in repair works of cars.

Results. The developed mathematical model and methodology for optimizing a number of current repairs provide a functional analysis of the technical service regularities on the base of diagnostic system of operating conditions and changed technical condition of rolling stock; the proposed calculation method allows for individual assessing operating conditions and changes in the technical condition of rolling stock, as well as using the previously identified patterns to improve the efficiency of the current repair system in the auto transport enterprise

Key words: auto repair station, queuing system.

УДК 621.9.022.1

Рязанцев А.О., Кляцкий В.И., Бугай Л.А. Визначення оптимальних режимів різання для обробки деталей зі зносостійких хромистих чавунів

Мета. Метою даної роботи є аналіз методів та засобів зниження трудомісткості операцій механічної обробки деталей гірничого обладнання, що виготовлені з високохромистих зносостійких чавунів, а саме – визначення оптимальних режимів різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої кромки при різних умовах обробки та обґрунтування геометричних параметрів ріжучого інструмента в умовах роботи з підвищеним навантаженням.

Методи дослідження. Були проведені дослідження стійкості змінних твердосплавних пластин з урахуванням різних факторів процесу різання. Результати роботи по оптимізації режимів різання, що застосовуються для обробки зносостійких чавунів отримані шляхом теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у визначенні параметрів та шляхів оптимізації процесу механічної обробки. Експериментальні дослідження засновані на комплексному вивченні взаємозв'язку режимів різання, геометрії ріжучого інструменту з різними умовами обробки деталей шламових насосів.

Наукова новизна. У результаті проведених досліджень були отримані дані про стан параметрів якості обробленої поверхні заготовок, що виготовлені зі зносостійких чавунів при обробці збірними різцями з різними інструментальними матеріалами та державками. Виявлені оптимальні режими різання при найбільшому періоді стійкості ріжучої кромки для пластин із різних сплавів на різних проходах. Досліджено залежності режимів різання від застосовуваного ріжучого матеріалу та геометричних параметрів (зокрема головного куту в плані) різців.

Практичне значення. Зроблені дослідження дозволили з високою точністю визначити період стійкості різальних кромок змінних твердосплавних пластин і зробити їх порівняльний аналіз для раціонального використання часу і фінансових ресурсів. Зокрема встановлені раціональні режими різання та геометричні параметри різців.

Результати. Встановлено, що використання запропонованого ріжучого інструменту фірми «ZCC» дозволило скоротити трудомісткість механічної обробки деталей зі зносостійких хромистих чавунів майже в 2 рази. Збільшення показників зниження трудомісткості токарних операцій можливо при роботі другим суппортом верстата. Обов'язковими умовами на чорнових та напівчистових операціях є використання різців головний кут в плані (ϕ) який не повинен перевищувати 20° , що досягається спеціальною конструкцією державки, а глибина різання не повинна перевищувати 3 мм.

Ключові слова: зносостійкий чавун, режими різання, твердосплавні пластини, стійкість, трудомісткість обробки.

Рязанцев А.А., Кляцкий В.И., Бугай Л.А. Определение оптимальных режимов резания для обработки деталей из износостойких хромистых чугунов

Цель. Целью данной работы является анализ методов и средств снижения трудоемкости операций механической обработки деталей горного оборудования, изготовленных из высокохромистых износостойких чугунов, а именно – определение оптимальных режимов резания при наибольшем периоде стойкости режущей кромки при различных условиях обработки и обоснование геометрических параметров режущего инструмента в условиях работы с повышенной нагрузкой.

Методы исследования. Были проведены исследования устойчивости сменных твердосплавных пластин с учетом различных факторов процесса резания. Результаты работы по оптимизации режимов резания, применяемые для обработки износостойких чугунов полученные путем теоретических и экспериментальных исследований. Теоретические исследования заключаются в определении параметров и путей оптимизации процесса механической обработки. Экспериментальные исследования основаны на комплексном изучении взаимосвязи режимов резания, геометрии режущего инструмента с различными условиями обработки деталей шламовых насосов.

Научная новизна. В результате проведенных исследований были получены данные о состоянии параметров качества обработанной поверхности заготовок, изготовленных из износостойких чугунов при обработке сборными резцами с различными инструментальными материалами и державками. Выявлены оптимальные режимы резания при наибольшем периоде стойкости режущей кромки для пластин из разных сплавов на разных проходах. Исследованы зависимости режимов резания от используемого режущего материала и геометрических параметров (в частности главного угла в плане) резцов.

Практическое значение. Проведенные исследования позволили с высокой точностью определить период стойкости режущих кромок сменных твердосплавных пластин и сделать их сравнительный анализ для рационального использования времени и финансовых ресурсов. В частности установлены рациональные режимы резания и геометрические параметры резцов.

Результаты. Установлено, что использование предложенного режущего инструмента фирмы «ZCC» позволило сократить трудоемкость механической обработки деталей из износостойких хромистых чугунов почти в 2 раза. Увеличение показателей снижения трудоемкости токарных операций возможно при работе вторым суппортом станка. Обязательными условиями на чорнових и получистових операціях являється використання резцов головний кут в плані (ϕ) которых не должен превышать 20° , что достигается специальной конструкцией державки, а глубина резания не должна превышать 3 мм.

Ключевые слова: износостойкий чугун, режимы резания, твердосплавные пластини, стойкость, трудоемкость обработки.

Ryazancev A.O., Klyackiy V.I., Buhai L.A. Determination of efficient cutting modes for processing wear-resistant chromium cast iron parts

Goal. The paper aims to analyze methods and means of reducing labour intensity of processing mining equipment parts made of wear-resistant high-chromium cast irons, i.e. determination of optimal cutting modes with the longest efficient cutting edge life in various processing conditions and substantiation of cutting tool geometry during its high load factor operation.

Research methods. There has been investigated durability of carbide inserts considering various factors of cutting. Theoretical and experimental studies have resulted in optimization of cutting modes for processing wear-resistant chromium cast

irons. Theoretical studies consist in determining parameters and ways of mechanical processing optimization. Experimental investigations are based on complex studies of interrelations of cutting modes, cutting tool geometry and various conditions of processing slurry pump parts.

Scientific originality. The conducted investigations have enabled data on quality parameters of wear-resistant chromium iron blank surfaces processed by turning tools with indexable inserts made of various tool materials and with various holders. There have been determined optimal cutting modes with the longest efficient cutting edge life for cutting inserts of various alloys at various processing stages. There have also been studied dependencies of cutting modes on the applied cutting material and geometry (the plan approach angle in particular) of cutting tools.

Practical significance. The conducted investigations enable precise determination of the durability period of cutting edges of carbide inserts as well as comparing them in terms of efficient use of time and financial resources. In particular, there have been determined rational cutting modes and cutter geometry.

Results. Application of the “ZCC” cutting tools enables halving labour intensity of mechanical processing of wear-resistant chromium iron parts. Increase in turning operations efficiency can be obtained through applying the second lathe saddle. Application of cutting tools with the plan approach angle (φ) not exceeding 20° , which can be achieved through a special design of the holder, and the cutting depth not exceeding 3 mm is an obligatory requirement for rough and semifinish operations.

Keywords: wear-resistant cast iron, cutting conditions, hard alloy plates, durability, labor content of processing.

УДК 621.92

Маринич І. А., Рубан С. А., Сердюк О. Ю. Застосування пакету TrueTime при моделюванні процесу керування об'єктами із запізненням і варіюваним періодом дискретності

Мета. Метою даної роботи є підвищення якості керування об'єктами з запізненням або змінним періодом дискретності за рахунок використання моделювання в режимі реального часу.

Методи дослідження. У роботі використано методи теорії автоматичного керування для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкту керування, методи імітаційного і комп'ютерного моделювання в режимі реального часу, комп'ютерні інформаційні та програмні технології для підвищення якості керування об'єктами з запізненням або змінним періодом дискретності.

Наукова новизна. У роботі пропонується застосування пакету TrueTime як допоміжної бібліотеки MATLAB/Simulink, спеціально розробленого для моделювання дискретних керуючих пристроїв і систем, цифрових систем в режимі реального часу. Використання цього пакету дозволяє полегшити моделювання поведінки багатозадачного процесорного ядра, що працює в режимі реального часу.

Практична значимість полягає у доцільності застосування пакету TrueTime, що підтримує різні технології передачі даних, як допоміжної бібліотеки MATLAB/Simulink, оскільки дозволяє реалізувати змінний період дискретизації та визначити найбільш доцільну мережу передачі інформації, що в свою чергу призведе до підвищення якості керування об'єктом в цілому.

Результати. Під режимом реального часу в роботі малося на увазі урахування в системі керування властивостей основних промислових телекомунікаційних мереж, а саме затримки через час на повторне відсилання пакетів через колізії в мережі. Діаграми часу на виконання показали, що період дискретизації регулятора став неперіодичним, а з відхиленнями – змінним, тобто, за допомогою пакету TrueTime вдалося створити систему зі змінним періодом дискретизації. Моделювання 4 різних мереж: CAN, Ethernet, FDMA та TDMA показало, що найефективнішою стала мережа CAN, а найгірший показник має мережа FDMA. Не зважаючи на те, що система працювала у режимі реального часу з затримками у мережі, система залишилася стійкою.

Ключові слова: варіюваний період дискретності, затримка сигналу, мережі передачі даних, моделювання, об'єкт з запізненням, truetype

Маринич И. А., Рубан С. А., Сердюк О. Ю. Применение пакета TrueTime при моделировании процесса управления объектами с запаздыванием и варьируемым периодом дискретности

Цель. Целью данной работы является повышение качества управления объектами с запаздыванием или переменным периодом дискретности за счет использования моделирования в режиме реального времени.

Методы исследования. В работе использованы методы теории автоматического управления для выбора и обоснования структуры математической модели объекта управления, методы имитационного и компьютерного моделирования в режиме реального времени, компьютерные информационные и программные технологии для повышения качества управления объектами с запаздыванием или переменным периодом дискретности.

Научная новизна. В работе предлагается применение пакета TrueTime как вспомогательной библиотеки MATLAB / Simulink, специально разработанного для моделирования дискретных управляющих устройств и систем, цифровых систем в режиме реального времени. Использование этого пакета позволяет облегчить моделирование поведения многозадачного процессорного ядра, работающего в режиме реального времени.

Практическая значимость заключается в целесообразности применения пакета TrueTime, который поддерживает различные технологии передачи данных, как вспомогательной библиотеки MATLAB / Simulink, поскольку позволяет реализовать переменный период дискретизации и определить наиболее целесообразную сеть передачи информации, что в свою очередь приведет к повышению качества управления объектом в целом.

Результаты. Под режимом реального времени в работе имелось в виду учет в системе управления свойств основных промышленных телекоммуникационных сетей, а именно задержки из-за повторной отправки пакетов через коллизии в сети. Диаграммы времени на выполнение показали, что период дискретизации регулятора стал неперіодическим, а с отклонениями - переменным, то есть, с помощью пакета TrueTime удалось создать систему с переменным периодом дискретизации. Моделирование 4 различных сетей: CAN, Ethernet, FDMA и TDMA показало, что наиболее эффективной является сеть CAN, а худший показатель имеет сеть FDMA. Несмотря на то, что система работала в режиме реального времени с задержками в сети, система осталась устойчивой.

Ключевые слова: варьируемый период дискретности, задержка сигнала, сети передачи данных, моделирование, объект с запаздыванием, truetype

Marynich I.A., Ruban S.A., Serdiuk O.Y. Application of the TrueTime package for modeling the process of controlling objects with delay and variable discreteness period

Purpose. The purpose of this work is to improve the quality of control of objects with delay or variable period of discreteness due to the use of real-time modeling.

Research methods. There are methods of automatic control theory to select and justify the structure of the control object mathematical model, the methods of simulation and computer modeling in real time, computer information and software technologies for improving the quality of control of objects with delay or variable discreteness period control used in the work.

Scientific novelty. Using of the TrueTime package as an auxiliary MATLAB / Simulink library, specially developed for modeling discrete control devices and systems, digital systems in real time is proposed in paper. Using this package makes it easier to simulate the behavior of real-time multitasking processor core.

Practical significance lies in the expediency of using the TrueTime package, which supports various data transfer technologies, as an auxiliary MATLAB / Simulink library, since it allows you to implement variable sampling period and determine the most appropriate information transmission network, which in turn will lead to increase in the quality of object control in general.

Results. Real-time mode in the work meant taking into account the properties of main industrial telecommunication networks in control system, namely delays due to re-sending packets through collisions in network. The execution time diagrams showed that the sampling period of controller became non-periodic, and with deviations - variable, that is, using the TrueTime package it was possible to create a system with a variable sampling period. Simulation of 4 different networks: CAN, Ethernet, FDMA and TDMA showed that the CAN network was the most efficient, and the FDMA network had the worst result. Despite the fact that system was operating in real time with network delays, the system remained stable.

Keywords: variable discreteness period, signal delay, data networks, modeling, object with delay, truetype.

УДК 004.896:681.3:621.311

Котов І.А. Дослідження функцій надійності оперативно-диспетчерського персоналу енергосистеми для оцінки ефективності системи підтримки прийняття рішень при ліквідації аварійних ситуацій

Метою статті є виклад результатів дослідження показників надійності роботи оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП) енергосистеми при ліквідації аварійних ситуацій. Розглядаються варіанти ліквідації аварії стандартною зміною ОДП і зміною, що використовує засоби інтелектуальної підтримки прийняття рішень (СППР). Для оцінки ступеня впливу системи підтримки рішень на надійність ОДП прийнята модель розподілу надійності по етапах операцій ліквідації аварії. Доведено, що використання СППР забезпечує додатковий запас надійності ОДП з урахуванням втоми.

Методи дослідження полягають у використанні методів теорії надійності, теорії множин, математичної логіки, теорії автоматів, електроенергетичних систем (ЕЕС), теорії графів, математичної статистики. Прийнято, що відмови в диспетчера є сукупністю закономірних і випадкових відмов. Інтенсивність відмов диспетчерської вахти вважається постійною, потік відмов має розподіл Пуассона, а функція надійності підпорядковується експоненціальному закону.

Наукова новизна полягає в новій моделі оцінки економічної ефективності СППР в аварійних режимах експлуатації енергосистеми. Розроблена СППР показала переваги перед аналогами по визначальним критеріям. Розроблено методу і зроблено оцінку надійності диспетчерської вахти в аварійному режимі. Проведена кількісна оцінка ефекту підвищення надійності ОДП від використання СППР при ліквідації аварійного порушення режиму ЕЕС.

Практична значимість роботи полягає в удосконаленні автоматизації управління режимами енергосистеми шляхом впровадження в середу оперативного інформаційно-управляючого комплексу (ОІУК) системи підтримки прийняття рішень. Це забезпечує запас надійності ОДП, який виражається як різниця між контрольним значенням коефіцієнта надійності і практичним значенням надійності при використанні СППР з урахуванням втоми.

Результатами роботи є модель оцінки надійності диспетчерської вахти в аварійному режимі, яка включає в себе розподіл видів надійності по частковим операціям при ліквідації аварійного порушення режиму ЕЕС, модель стомлюваності, яка підпорядковується експоненціальному закону. Результат використання СППР при ліквідації аварії може бути оцінений як приріст додаткового часу безперервної експлуатації ОДП при надійній ліквідації аварійної ситуації. Приведена графічна інтерпретація розподілу функції надійності ОДП для оцінки ефективності використання СППР.

Ключові слова: енергосистема, надійність, аварійна ситуація, коефіцієнт готовності, логістична функція, інтенсивність відмов.

Котов И.А. Исследование функций надежности оперативно-диспетчерского персонала энергосистемы для оценки эффективности системы поддержки принятия решений при ликвидации аварийных ситуаций

Целью статьи является изложение результатов исследования показателей надежности работы оперативно-диспетчерского персонала (ОДП) энергосистемы при ликвидации аварийных ситуаций. Рассматриваются варианты ликвидации аварии стандартной сменой ОДП и сменой, которая использует средства интеллектуальной поддержки принятия решений (СППР). Для оценки степени влияния системы поддержки решений на надежность ОДП принята модель распределения надежности по этапам операций ликвидации аварии. Показано, что использование СППР обеспечивает дополнительный запас надежности ОДП с учетом усталости.

Методы исследования заключаются в использовании методов теории надежности, теории множеств, математической логики, теории автоматов, электроэнергетических систем (ЭЭС), теории графов, математической статистики. Принято, что отказы в работе диспетчера представляют собой совокупность закономерных и случайных отказов. Интенсивность отказов диспетчерской вахты считается постоянной, поток отказов имеет распределение Пуассона, а функция надежности подчиняется экспоненциальному закону.

Научная новизна заключается в новой модели оценки экономической эффективности СППР в аварийных режимах эксплуатации энергосистемы. Разработанная СППР показала преимущества перед аналогами по определяющим критериям. Разработана методика и произведена оценка надежности диспетчерской вахты в аварийном режиме. Проведена количественная оценка эффекта повышения надежности ОДП от использования СППР при ликвидации аварийного нарушения режима ЭЭС.

Практическая значимость работы заключается в совершенствовании автоматизации управления режимами энергосистемы путем внедрения в среду оперативного информационно-управляющего комплекса (ОИУК) системы поддержки принятия решений. Это обеспечивает запас надежности ОДП, который выражается как разница между контрольным значением коэффициента надежности и практическим значением надежности при использовании СППР с учетом усталости.

Результатами работы является модель оценки надежности диспетчерской вахты в аварийном режиме, которая включает в себя распределение видов надежности по частичным операциям при ликвидации аварийного нарушения режима ЭЭС, модель утомляемости, которая подчиняется экспоненциальному закону. Результат использования СППР при ликвидации аварии может быть оценен как прирост дополнительного времени непрерывной эксплуатации ОДП при надежной ликвидации аварийной ситуации. Приведена графическая интерпретация распределения функции надежности ОДП для оценки эффективности использования СППР.

Ключевые слова: энергосистема, надежность, аварийная ситуация, коэффициент готовности, логистическая функция, интенсивность отказов

Котов І.А. Research of the reliability functions of the operational dispatcher power system personnel for assessing the efficiency of the system support for decision-making in the elimination of emergency situations

The aim of the article is to present the results of the study of the indicators of the reliability of the operation of the operational dispatching personnel (ODP) of the power system during the elimination of emergency situations. Variants of accident elimination by means of a standard shift of an ODP and a shift that uses means of intelligent decision support (DSS) are considered. To assess the degree of influence of the decision support system on the reliability of the ODP, a model of the reliability distribution over the stages of emergency response operations was adopted. It is shown that the use of the DSS provides an additional safety margin for the ODP taking into account fatigue.

The research methods consist in using the methods of reliability theory, set theory, mathematical logic, automata theory, electric power systems (EPS), graph theory, and mathematical statistics. It is accepted that failures in the work of a dispatcher are a combination of natural and random failures. The failure rate of the control room is considered constant, the flow of failures has a Poisson distribution, and the reliability function obeys an exponential law.

The scientific novelty lies in a new model for assessing the economic efficiency of the DSS in emergency operation of the power system. The developed DSS has shown advantages over analogs in terms of determining criteria. A methodology has been developed and the reliability of a dispatcher watch in emergency mode has been assessed. A quantitative assessment of the effect of increasing the reliability of the ODP from the use of the DSS in the elimination of an emergency violation of the EPS.

The practical significance of the work lies in improving the automation of control of power system modes by introducing a decision support system into the environment of the operational information management complex (OIMC). This provides a safety margin for the ODP, which is expressed as the difference between the control value of the safety factor and the practical value of reliability when using the DSS with account of fatigue.

The results of the work are a model for assessing the reliability of a dispatching watch in an emergency mode, which includes the distribution of types of reliability for partial operations during the elimination of an emergency violation of the EPS mode, a fatigue model that obeys an exponential law. The result of using the DSS in the elimination of an accident can be assessed as an increase in the additional time of continuous operation of the ODP with a reliable elimination of the emergency. A graphical interpretation of the distribution of the reliability function of the ODP is given for assessing the efficiency of using the DSS.

Key words: power system, reliability, emergency, availability factor, logistic function, failure rate

УДК 37:004.588; 004.85

Сайтгарєєв Н. Х., Шаповалова Н. Н., Рибальченко О. Г., Доценко І. О., Білашенко С. В. Модель індивідуалізації контролю якості знань у системах адаптивного тестування

Мета роботи – розробити і теоретично обґрунтувати ефективність застосування системи контролю знань на основі технології адаптивного тестування, яка поєднує в собі специфіку професійно-педагогічної діяльності та моніторингу якості навчання і можливість самоконтролю студентів, розробити комплекс тестових завдань з дисципліни «Системи штучного інтелекту».

Методи дослідження. У роботі використано наступні методи дослідження: аналіз джерел з досліджуваної теми, методи визначення психологічного типу людини, методи теорії штучного інтелекту для індивідуалізації контролю знань, моделювання процесу навчання алгоритмів класифікації, формалізація побудованих моделей, методи проектування програмного забезпечення для розробки програмної моделі, емпіричні методи обґрунтування оптимальних параметрів навчання моделі, методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування.

Наукова новизна полягає в тому, що розроблена модель дозволяє на початковому етапі оцінювання якості знань студентів враховувати психотип особистості, підбирати форму подання інформації і завдань згідно особливостей сприйняття і рівню засвоєного матеріалу. Модель адаптивного контролю має достатньо високу здатність до узагальнення і може використовуватись для проведення тестування з різних галузей знань при наявності бази питань та завдань у відповідній формі. На основі розробленої моделі створено програмний модуль, який дає змогу проаналізувати ступінь засвоєності навчального матеріалу у студентів з різним рівнем підготовки і знань.

Практична значимість виконаної роботи полягає в тому, що розроблено комплекс різних за рівнем складності тестів з дисципліни «Системи штучного інтелекту» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за

спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення». Комплекс тестових завдань може бути використаний для визначення якості знань із різних дисциплін циклу професійної підготовки, що передбачають опанування технологій штучного інтелекту; розроблене програмне забезпечення можливо використовувати як засіб інформаційно-комунікаційних технологій в процесі навчання будь-яких дисциплін.

Результати. Запропоновано особистісно-орієнтований підхід до розробки тестових завдань, розроблено універсальну систему адаптивного контролю якості знань, а також складено комплекс предметно-орієнтованих тестових завдань різного рівня складності для поточного та модульного контролю з дисципліни «Системи штучного інтелекту» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення».

Ключові слова: адаптивне тестування, машинне навчання, психологічні типи особистості.

Сантгареев Н. Х., Шаповалова Н. Н., Рыбальченко Е. Г., Доценко И. А., Билашенко С. В. Модель индивидуализации контроля качества знаний в системах адаптивного тестирования

Цель работы – разработать и теоретически обосновать эффективность применения системы контроля знаний на основе технологии адаптивного тестирования, которая сочетает в себе специфику профессионально-педагогической деятельности и мониторинга качества обучения и возможность самоконтроля студентов, разработать комплекс тестовых заданий по дисциплине «Системы искусственного интеллекта».

Методы исследования. В работе использованы следующие методы исследования: анализ источников по исследуемой теме, методы определения психологического типа человека, методы теории искусственного интеллекта для индивидуализации контроля знаний, моделирования процесса обучения алгоритмов классификации, формализация построенных моделей, методы проектирования программного обеспечения для разработки программной модели, эмпирические методы обоснования оптимальных параметров обучения модели, методы объектно-ориентированного проектирования и программирования.

Научная новизна заключается в том, что разработанная модель позволяет на начальном этапе оценивания качества знаний студентов учитывать психотип личности, подбирать форму представления информации и заданий согласно особенностей восприятия и уровня усвоенного материала. Модель адаптивного контроля имеет достаточно высокую способность к обобщению и может использоваться для проведения тестирования по различным отраслям знаний при наличии базы вопросов, представленных в соответствующей форме. На основе разработанной модели создан программный модуль, который позволяет проанализировать степень усвоенности учебного материала у студентов с различным уровнем подготовки и знаний.

Практическая значимость выполненной работы состоит в том, что разработан комплекс различных по уровню сложности тестов по дисциплине «Системы искусственного интеллекта» для соискателей первого (бакалаврського) уровня высшего образования по специальности 121 – «Інженерія програмного забезпечення». Комплекс тестових завдань може бути використаний для визначення якості знань по різним дисциплінам циклу професійної підготовки, передбачаючих вивчення технологій штучного інтелекту; розроблене програмне забезпечення можна використовувати як засіб інформаційно-комунікаційних технологій в процесі навчання будь-яких дисциплін.

Результаты. Предложен личностно-ориентированный подход к разработке тестовых заданий, разработана универсальная система адаптивного контроля знаний, а также составлен комплекс предметно-ориентированных тестовых заданий разного уровня сложности для текущего и модульного контроля по дисциплине «Системы искусственного интеллекта» для соискателей первого (бакалаврського) уровня высшего образования по специальности 121 – «Інженерія програмного забезпечення».

Ключевые слова: Адаптивное тестирование, машинное обучение, психологические типы личности.

Saitgareev N. Kh., Shapovalova N. N., Rybalchenko O. G., Dotsenko I. O., Bilashenko S. V. A model for individualization of knowledge quality control in the system of adaptive testing

The purpose of the work is to develop and theoretically substantiate the effectiveness of the application of a knowledge control system based on the adaptive testing technology, which combines the specifics of professional and pedagogical activities and monitoring the quality of education and the possibility of self-control of students, to develop a set of test tasks for the discipline "Artificial Intelligence Systems".

Research methods. The following research methods were used in the work: analysis of sources on the topic under study, methods for determining the psychological type of a person, methods of the theory of artificial intelligence for the individualization of knowledge control, modeling the learning process of classification algorithms, formalization of the constructed models, software design methods for developing a software model, empirical methods of substantiating the optimal parameters of training a model, methods of object-oriented design and programming.

The scientific novelty lies in the fact that the developed model allows, at the initial stage of assessing the quality of students' knowledge, to take into account the psychotype of the personality, to select the form of presentation of information and tasks in accordance with the characteristics of perception and the level of learned material. The adaptive control model has a fairly high generalization ability and can be used to conduct testing in various fields of knowledge if there is a database of questions presented in the appropriate form. On the basis of the developed model, a software module was created that allows you to analyze the degree of assimilation of the educational material by students with different levels of training and knowledge.

The practical value of the work performed lies in the fact that a set of tests of various complexity levels in the discipline "Artificial Intelligence Systems" has been developed for applicants for the first (bachelor's) level of higher education in specialty 121 - "Software Engineering". A set of test items can be used to determine the quality of knowledge in various disciplines of the professional training cycle, involving the study of artificial intelligence technologies; the developed software can be used as a means of information and communication technologies in the process of teaching any discipline.

Results. A personality-oriented approach to the development of test tasks is proposed, a universal system of adaptive knowledge control has been developed, and a set of subject-oriented test tasks of various complexity levels has been

compiled for current and modular control in the discipline "Artificial intelligence systems" for applicants for the first (bachelor's) level of higher education in specialty 121 - "Software Engineering".

Key words: Adaptive testing, machine learning, psychological personality types.

УДК 629.1.072.2

Hirin I.V., Tyshchenko V.Yu Comparative analysis of safety design for electric vehicle and internal combustion engine cars

Purpose. A comprehensive study of the current safety design of electric vehicles (EVs), identifying the problems to be addressed for the development of the national electric mobility market infrastructure and the competition with conventional internal combustion engine cars (ICE) in Ukraine.

Research methods. Synthesis and analysis of the published theoretical developments using world statistical indicators on electric vehicles, analytical calculations, and statistical analysis. The methodology of theoretical research is based on the logical and mathematical methods. A number of particular methods are as follows: axiomatic and hypothetical methods, analysis and synthesis, interpretation method. An integrated approach including synthesis and analysis of literature review and research on automobile transport.

Scientific novelty. The analytical assessment of the safety design of up-to-date electric vehicles and the identification of the key directions and technical capabilities to further enforce of active, passive, post-accident and environmental safety of electric vehicles.

Practical significance. The main design criteria result in reduced road traffic fatality rates thanks to a number of electric vehicles on the road. The high dependence of the whole EV safety design on individual parts and units of the EVs has a direct impact on improving road safety.

Results. A comparative analysis of the technological components of active, passive, post-accident and environmental safety of electric vehicles and conventional cars. Test results of EVs compared to ICE cars are summarized. An assessment of fire risks of vehicles equipped with electric batteries of different types. The constructive solutions of modern mass-produced electric vehicles, which pose the greatest threat to road safety, are noted. Further research priorities for improvement of electric vehicle safety design are identified.

Key words: electric vehicle, safety design, electric vehicle battery, crash tests of electric vehicles.

Гірін І.В., Тищенко В.Ю. Порівняльний аналіз конструктивної безпеки електромобілів та автівок з ДВЗ

Мета. Метою роботи є комплексне дослідження сталого стану конструктивної безпеки електромобільного транспорту з зазначенням проблем, які потрібно вирішити для інфраструктурного напрямку розвитку вітчизняного ринку електрокарів, внаслідок чого електричні автомобілі складуть повноцінну конкуренцію традиційним машинам з ДВЗ в Україні.

Методи дослідження. В роботі виконані аналіз і узагальнення опублікованих теоретичних розробок з використанням світових статистичних показників стосовно електромобільного транспорту, аналітичні розрахунки, статистичний аналіз. Методологія теоретичних досліджень заснована на застосуванні логічних і математичних методів. Також застосовується ряд приватних методів: аксіоматичний і гіпотетичний методи, аналіз і синтез, метод інтерпретації. Використано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі автомобільного транспорту.

Наукова новизна. Наукову цінність представляє аналітичне оцінювання конструктивної безпеки сучасного електромобільного транспорту та виявлення основних напрямків та технічних можливостей для подальшого підвищення рівня активної, пасивної, післяаварійної та екологічної безпеки електричних автомобілів.

Практична значимість. Результати, отримані в даній роботі дають можливість встановити основні конструктивні критерії, виконання яких дозволить знизити кількість ДТП при масовій участі електромобілів в процесі дорожнього руху. Залежність впливу окремих вузлів та агрегатів електромобілю на стан його конструктивної безпеки в цілому, встановлена в роботі, дозволить суттєво вплинути на покращення стану безпеки дорожнього руху.

Результати. Виконано порівняльний аналіз рівня технологічних компонентів активної, пасивної, післяаварійної та екологічної безпеки електромобілів і традиційних автомобілів. Узагальнено результати тестових випробувань електрокарів в порівнянні із звичайними авто. Дано оцінку спалахонебезпечності електромобілів в залежності від типу встановленої на них акумуляторної батареї. Відзначено, які конструктивні рішення сучасних серійних електромобілів створюють найбільшу загрозу рівню дорожньої безпеки. Розглянуті можливі напрямки досліджень, впровадження яких дозволило б досягти підвищення рівня конструктивної безпеки електрокарів.

Ключові слова: електромобільний транспорт, конструктивна безпека, батареї електрокарів, краш-тести електромобілів.

Гирин И.В., Тищенко В.Ю. Сравнительный анализ конструктивной безопасности электромобилей и автомобилей с ДВС

Цель. Целью работы является комплексное исследование современного состояния конструктивной безопасности электромобильного транспорта с указанием проблем, которые нужно решить для инфраструктурного направления развития отечественного рынка электрокаров, в результате чего электрические автомобили составят полноценную конкуренцию традиционным машинам с ДВС в Украине.

Методы исследования. В работе выполнены анализ и обобщение опубликованных теоретических разработок с использованием мировых статистических показателей относительно электромобильного транспорта, аналитические расчеты, статистический анализ. Методология теоретических исследований основана на применении логических и математических методов. Также применяется ряд частных методов: аксиоматический и гипотетический методы, анализ и синтез, метод интерпретации. Использован комплексный подход, включающий обобщение и анализ литературных источников и исследований в области автомобильного транспорта.

Научная новизна. Научную ценность представляет аналитическое оценивание конструктивной безопасности современного электромобильного транспорта и выявление основных направлений и технических возможностей для

дальнейшего повышения уровня активной, пассивной, послеварийной и экологической безопасности электрических автомобилей.

Практическая значимость работы. Результаты, полученные в данной работе, дают возможность установить основные конструктивные критерии, выполнение которых позволит снизить количество ДТП при массовом участии электромобилей в процессе дорожного движения. Зависимость влияния отдельных узлов и агрегатов электромобиля на состояние его конструктивной безопасности в целом, установленная в работе, позволит существенно повлиять на улучшение состояния безопасности дорожного движения.

Результаты. Выполнен сравнительный анализ уровня технологических компонентов активной, пассивной, послеварийной и экологической безопасности электромобилей и традиционных автомобилей. Обобщены результаты тестовых испытаний электрокаров по сравнению с обычными авто. Дана оценка опасности возгорания электромобилей в зависимости от типа установленной на них аккумуляторной батареи. Отмечены конструктивные решения современных серийных электромобилей, которые создают наибольшую угрозу уровню дорожной безопасности. Рассмотрены возможные направления исследований, внедрение которых позволило бы достичь повышения уровня конструктивной безопасности электрокаров.

Ключевые слова: электромобильный транспорт, конструктивная безопасность, батареи электрокаров, краш-тесты электромобилей.

УДК 65.012.122

Завсєгдашня І.В., Цвїркун С.Л., Бурнасєв П.В., Сердюк О.Ю., Завсєгдашня О.О. Оптимізаційне моделювання розподілу продукції видобувного підприємства між контрагентами

Мета роботи полягає у розробці оптимізаційної економіко-математичної моделі для планування збуту продукції видобувного підприємства, яка б враховувала не тільки значення цільової функції – умову максимізації обсягів збуту та доходу від основної діяльності, але також враховувала пріоритетність (рівень значимості) контрагентів для добувального підприємства.

Методи дослідження: у роботі використовувався метод теоретичного аналізу в процесі дослідження науково-практичних розробок та підходів до моделювання розподілу продукції виробничих підприємств між споживачами; системний аналіз використовувався для розробки структурно-логічної схеми, що відображає етапи підготовки до прийняття рішення щодо оптимального планування збуту продукції а також формування методики ранжування контрагентів; методи економіко-математичного моделювання використовувались для розробки оптимізаційної моделі розподілу продукції; статистичні методи використовувались для розрахунку фактичного значення параметрів моделі.

Наукова новизна: полягає у тому, що запропонована економіко-математична модель, застосування якої забезпечує оптимізацію процесу розподілу продукції підприємства, враховує рейтинг контрагентів а також ситуативний характер процесу розподілу продукції.

Практична значимість. Робота присвячена розробці оптимізаційної моделі для обґрунтування прийняття рішень при розподілі продукції між контрагентами, в ситуації, коли відбувся недостатній видобуток корисної сировини. Проблемою є прийняття рішення щодо того, хто з контрагентів є більш пріоритетним. В даній роботі запропоновано застосовувати методи експертної оцінки контрагентів продукції, та ранжування їх. Дана модель є релевантною для підприємств, що виробляють однотипну продукцію.

Результати. В результаті роботи було досліджено теоретичні основи планування збуту та розподілу продукції добувального підприємства; сформульовано рекомендації щодо побудови рейтингу контрагентів продукції підприємства; розроблено оптимізаційну модель планування збуту продукції добувального підприємства за різних умов виконання планового обсягу добувального корисних копалин. Розроблену модель було застосовано для умов видобувного підприємства для різних варіантів недовиконання та перевиконання планових показників виробництва. Модель складено на основі базової відкритої інформації за 2017 р. Враховано умову щоквартального планування поставок.

Ключові слова: оптимізаційна економіко-математична модель, експертне оцінювання, збут, недовипуск, гірничо-видобувне підприємство.

Завсєгдашня І.В., Цвїркун С.Л., Бурнасєв П.В., Сердюк А.Ю., Завсєгдашня О.А. Оптимизационное моделирование распределения продукции добывающего предприятия между контрагентами

Цель работы заключается в разработке оптимизационной экономико-математической модели для планирования сбыта продукции добывающего предприятия, которая бы учитывала не только значение целевой функции - условие максимизации объемов сбыта и дохода от основной деятельности, но также учитывала приоритетность (уровень значимости) контрагентов для добывающего предприятия .

Методы исследования: в работе использовался метод теоретического анализа в процессе исследования научно-практических разработок и подходов к моделированию распределения продукции производственных предприятий между потребителями; системный анализ использовался для разработки структурно-логической схемы, отражающей этапы подготовки к принятию решения относительно оптимального планирования сбыта продукции, а также при формировании методики ранжирования контрагентов; методы экономико-математического моделирования использовались для разработки оптимизационной модели распределения продукции; статистические методы использовались для расчета фактического значения параметров модели.

Научная новизна: заключается в том, что предложенная экономико-математическая модель, применение которой обеспечивает оптимизацию процесса распределения продукции предприятия, учитывает рейтинг контрагентов, а также ситуативный характер процесса распределения продукции.

Практическая значимость. Работа посвящена разработке оптимизационной модели для обоснования принятия решений при распределении продукции между контрагентами, в ситуации, когда произошла недостаточная добыча полезного ископаемого. Проблема принятия решения заключается в том, чтобы определить кто из контрагентов является более приоритетным. В данной работе предлагается применять методы экспертной оценки контрагентов

продукции, и ранжирование их. Данная модель является релевантной для предприятий, производящих однотипную продукцию.

Результаты. В результате работы были исследованы теоретические основы планирования сбыта и распределения продукции добывающего предприятия; сформулированы рекомендации по построению рейтинга контрагентов - потребителей продукции предприятия; разработаны оптимизационные модели планирования сбыта продукции добывающего предприятия в различных условиях выполнения планового объема добычи полезного ископаемого. Разработанную модель была применена для условий добывающего предприятия для различных вариантов невыполнения и перевыполнения плановых показателей производства. Модель составлен на основе базовой открытой информации за 2017 год. Учтены условия ежеквартального планирования поставок.

Ключевые слова: оптимизационная экономико-математическая модель, экспертная оценка, сбыт, невыпуск, горнодобывающее предприятие.

Zavsiehdashnia I., Tsvirkun S., Burnasov P., Serdiuk O., Zavsiehdashnia O. Optimization modeling of production distribution between contractors for mining enterprises

The purpose of the work is to develop an optimization economic and mathematical model for product sales planning, which would take into account not just the value of the objective function - sales volumes and revenue, but also take into account the purchasers' priority (level of significance) for the mining company.

Research methods: the method of theoretical analysis of scientific and practical approaches to modeling of products sharing for the conditions of industrial enterprises; system analysis for the development of a scheme that reflects the stages of preparation for making a decision regarding the optimal planning of product sales; economic and mathematical modeling for the development of an optimization model.

Scientific novelty: is in the fact that the proposed economic and mathematical model in the process of distributing the products of the enterprise, takes into account the rating of purchasers.

Practical value. The work is devoted to the development of an optimization model to justify decision-making in the distribution of products between contractors, in a situation where there was insufficient extraction of useful raw materials. The problem is the need to decide which of the counterparties is more priority. In this paper, it is proposed to apply the methods of expert assessment of product counterparties, and their ranking. This model is relevant for enterprises producing the same type of product.

Results. The developed model was applied to the conditions of the mining enterprise for various options for under-fulfillment and over-fulfillment of production targets. The model was compiled on the basis of public information for 2017. The condition of quarterly planning of supplies was taken into account.

Results As a result of the work, the theoretical background of sales planning and products distribution of the mining enterprise were investigated; recommendations were formulated for grading of counterparties - consumers of the company's products; the optimization models for planning the sales of the production of an extracting enterprise in various conditions of fulfilling the planned volume of production of a useful mineral have been developed. The developed model was applied to the conditions of the mining enterprise for various options for under-fulfillment and over-fulfillment of production targets. The model was compiled on the basis of basic public information for 2017. The condition of quarterly planning of supplies to purchasers was taken into account.

Key words: optimization economic and mathematical model, expert evaluation, sales, under-production, mining enterprise.

УДК 622.765

Кривенко А.Ю., Кривенко Ю.Ю. Імітаційне моделювання гравітаційного поділу залізорудної сировини у ванні дешламатора

Мета. Дослідження питань пов'язаних із гравітаційним гідравлічним збагаченням залізорудної сировини в дешламаторах і вирішення їх методами математичного і імітаційного моделювання шляхом застосування теорії подоби і розмірностей.

Методи. Використання загальнонаукових методів дослідження: теорії ймовірності, теорії інформації, методів математичного моделювання, законів гідравліки і гідродинаміки.

Наукова новизна. Виконано прогнозування поведінки вихідного потоку пульпи з живильного пристрою апарата, як компактного затопленого повного в'язового струменю, що дозволило досліджувати залежності швидкості руху пульпи і змісту твердої фази від параметрів пристрою живлення. Отримані залежності дають можливість зменшити негативний вплив затопленого струменю на гравітаційне збагачення залізорудної сировини шляхом накладення обмежень на конструктивні особливості живильного пристрою. На основі застосування відомих законів гідродинаміки була побудована математична модель гравітаційного гідравлічного поділу залізорудної сировини у ванні дешламатора після виходу пульпи з живильного пристрою, відповідно до якої при виборі структури моделі використовуються теоретичні передумови, а параметри, що входять у модель, встановлюють експериментально. Отримана залежність швидкості нагромадження згущеного продукту, як функція гідравлічної крупності часток, що осаджуються, розмірів ванни апарата і пристрою подачі вихідного живлення. Представлена залежність дозволяє вибрати необхідні параметри гідравлічного апарата і пристрою подачі вихідного живлення з метою досягнення необхідної якості загущеного продукту.

Практична значимість. Полягає в удосконаленні технології збагачення залізних руд за рахунок підвищення ефективності гідравлічного збагачення у дешламаторах, а також у розробці нового способу формування вихідного живлення в прийомну ємність апарата, визначенні конструктивних і технологічних параметрів процесу.

Результати. Проведення імітаційного моделювання шляхом застосування теорії подібності і математичної моделі гравітаційного поділу залізорудної сировини у дешламаторі представлена в безрозмірному вигляді. Це дозволяє істотно скоротити число параметрів, що впливають на протікання досліджуваного процесу. Проведення обчислювального експерименту за результатами математичного моделювання процесу гравітаційного поділу залізорудної сировини у дешламаторі дозволило вивчити поведінку відповідних залежностей. Разом з тим, на практиці виникають

питання про знаходження кількісних співвідношень. Для рішення цих питань необхідне проведення експериментів на реальних об'єктах, тобто на функціонуючих дешламаторах, з метою збору статистичного матеріалу для оцінки величин параметрів, які входять у синтезовані математичні моделі.

Ключові слова: дешламатор, знешламлення, радіальний згущувач.

Кривенко А.Ю., Кривенко Ю.Ю. Теория подобия и размерностей – основа имитационного моделирования гравитационного разделения железорудного сырья в ванне дешламатора

Цель. Исследование вопросов, связанных с гравитационным гидравлическим обогащением железорудного сырья в дешламаторах и решение их методами математического и имитационного моделирования путем применения теории подобия и размерностей.

Методы. Использование общенаучных методов исследования: теории вероятности, теории информации, методов математического моделирования, законов гидравлики и гидродинамики.

Научная новизна. Прогнозирование поведения потока пульпы выходящего из питающего устройства аппарата, как компактной затопленной полной всерной струи позволяет исследовать зависимости скорости движения пульпы и содержания твердого от параметров устройства питания. Полученные зависимости дают возможность уменьшить негативное влияние затопленной струи на гравитационное обогащение железорудного сырья путем наложения ограничений на конструктивные особенности питающего устройства. На основе применения известных законов гидродинамики была построена математическая модель гравитационного гидравлического разделения железорудного сырья в ванне дешламатора после выхода пульпы из питающего устройства, в соответствии с которой при выборе структуры модели используются теоретические предпосылки, а параметры, входящие в модель, находятся экспериментально. Расчётными формулами получена зависимость скорости накопления сгущенного продукта как функция гидравлической крупности осаждаемых частиц, размеров ванны аппарата и устройства подачи исходного питания. Представленная зависимость позволяет выбирать необходимые параметры аппарата и устройства подачи исходного питания с целью достижения требуемого качества загущенного продукта.

Практическая значимость. Заключается в усовершенствовании технологии обогащения железных руд за счёт повышения эффективности гидравлического обогащения в дешламаторах, а также в разработке нового способа формирования исходного питания в приемную емкость аппарата, определении конструктивных и технологических параметров процесса.

Результаты. Проведения имитационного моделирования путем применения теории подобия и математической модели гравитационного разделения железорудного сырья в дешламаторе представлена в безразмерном виде. Это позволяет существенно сократить число параметров, влияющих на протекание исследуемого процесса. Проведение вычислительного эксперимента по результатам математического моделирования процесса гравитационного разделения железорудного сырья в дешламаторе позволило изучить поведение соответствующих зависимостей. Вместе с тем, на практике возникают вопросы о нахождении количественных соотношений. Для решения этих вопросов необходимо проведение экспериментов на реальных объектах, то есть на функционирующих дешламаторах, с целью сбора статистического материала для оценки величин параметров, которые входят в синтезированные математические модели.

Ключевые слова: дешламатор, обесшламливание, радиальный сгуститель.

Kryvenko A.Yu., Kryvenko Yu.Yu. Simulation of gravity separation of iron ore raw materials in a deslimer tank

Purpose. Investigating the issues on the gravity hydraulic beneficiation of iron ore raw materials in a deslimer and addressing them by methods of mathematical modeling and simulation on the base of the similarity theory and dimensions.

Methods. The research methods are as follows: statistical, probability theory, information theory, methods of mathematical modeling, laws of hydraulics and hydrodynamics.

Scientific novelty. Predicting of the pulp flowing out of the feeder as a compact full fan jet enables to study the dependence of the pulp flow rate and the solid content on the parameters of the feeder. The obtained dependencies make it possible to reduce the negative effect of the full jet on the gravity beneficiation of iron ore raw materials by imposing restrictions on the design of the feeding device. A mathematical model of the gravity hydraulic separation of iron ore raw materials in a deslimer tank, after the pulp supplying, was built on the base of the hydrodynamics laws. In accordance with the mathematical model, the theoretical prerequisites are used by choosing the structure of the model, while the parameters included in the model are found experimentally. The dependence of the rate of the thickened product accumulation as a function of the hydraulically precipitated particles on the size of the deslimer tank and the supplier is obtained. The presented dependence allows you to choose the necessary parameters of the deslimer and the feeder, in order to achieve the required quality of the thickened product.

Practical significance. Improving the iron ore beneficiation by increasing the efficiency of hydraulic beneficiation in the deslimer; developing a new method for forming the initial feed into the receiving tank; determining the design and technological process parameters.

Results. Simulation modeling using the similarity theory and a mathematical model of the gravity separation of iron ore raw materials in the deslimator is presented in dimensionless form. This enables to significantly reduce the number of parameters affecting the process under study. A computational experiment resulted from the mathematical modeling of the gravitational separation of iron ore raw materials in the deslimer made it possible to study the corresponding dependences. At the same time, determination of the quantitative dependences may be challenged in practice. To address these issues, it is essential that experiments be conducted on real objects namely on functioning deslimers, in order to collect statistical material to assess the parameters included in the synthesized mathematical models.

Key words: deslimer, desliming, radial thickener.

УДК 621.181:62

Суртаєв В.В. Ефективність теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла (α -модель)

Мета. Підвищення загальної ефективності теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла. Також метою розрахунків теплоутилізаторов є визначення показників стану робочих тіл (РТ) і

потоків обміну теплоти й маси РТ у теплоутилізаторах з термодинамічної точки зору являють собою гомогенні або гетерогенні системи. До гомогенних, як відомо, відносять ті системи, хімічний склад і фізичні властивості яких у всіх їх частинах однакові або змінюються безупинно без стрибка від однієї точки до іншої, а до гетерогенних - системи складаються із двох або більше різних гомогенних областей. Гомогенні області в гетерогенній системі є її компонентами або фазами її компонентів. Після поділу гетерогенної системи на компоненти й фази представляється можливим її повний опис. Компоненти й фази характеризуються енергією, ентальпією, ентропією й ін..

Методи дослідження. Наукове завдання, проблема підвищення загальної ефективності різних теплоенергетичних установок, їх теплових схем установок, систем пристроїв утилізації теплоти, от далеко не повний перелік актуальних питань, наукових задач і проблеми, рішення яких неможливо без розробки спеціальних методик рішення інженерно-технічних завдань, актуальних наукових задач і проблеми проектування й будівництва контактних тепломасообмінних апаратів.

Наукова новизна полягає в тому, що теоретичні положення, методи, постановка завдання, моделі, граничні рівноважні стани робочих тіл, узагальнені безрозмірні показники рішення завдань сталого тепло- і масопереносу тепло й масообміну в апаратах утилізації теплоти.

Практична значимість виконаної роботи полягає в тому, що основний елемент будь-яких теплоутилізаційних установок, пристрою, системи - тепломасообмінний апарат, від ефективності роботи якого, в значній мірі, залежить ефективність інженерного рішення, і, саме тому, розгляд надалі методів фізико-математичного моделювання процесів у тепломасообмінних апаратах-утилізаторах і основ інженерного проектування, рішення завдань і наукових проблем тепломасообміну установок, систем, пристроїв утилізації теплоти є актуальним на наш час.

Результати. Підвищення загальної ефективності теплоутилізаційних установок, пристрою, системи - тепломасообмінний апарат.

Ключові слова: форсунка, форсункова камера, система, пристрій, установка, ефективність, тепло- і масообмін, фактори.

Суртаев В.В. Эффективность теплоэнергетических установок, тепловых схем систем, устройств, установок утилизации тепла (α -модель)

Цель. Повышение общей эффективности теплоэнергетических установок, тепловых схем систем, устройств, установок утилизации тепла. Также целью расчетов теплоутилизаторов является определение показателей состояния рабочих тел (РТ) и потоков обмена теплоты и массы РТ в теплоутилизаторах с термодинамической точки зрения представляют собой гомогенные или гетерогенные системы. К гомогенным, как известно, относят те системы, химический состав и физические свойства которых во всех их частях одинаковые или изменяются непрерывно без скачка от одной точки к другой, а к гетерогенным - системы состоят из двух или больше разных гомогенных областей. Гомогенные области в гетерогенной системе являются ее компонентами или фазами ее компонентов. После деления гетерогенной системы на компоненты и фазы представляется возможным ее полное описание. Компоненты и фазы характеризуются энергией, энтальпией, энтропией и др..

Методы исследования. Научная задача, проблема повышения общей эффективности разных теплоэнергетических установок, их тепловых схем установок, систем устройств утилизации теплоты, вот далеко не полный перечень актуальных вопросов, научных задач и проблемы, решение которых невозможно без разработки специальных методик решения инженерно-технических задач, актуальных научных задач и проблемы проектирования и строительства контактных тепломасообменных аппаратов.

Научная новизна заключается в том, что теоретические положения, методы, постановка задач, модели, предельные равновесные состояния рабочих тел, обобщены безразмерные показатели для решения задач постоянного тепло- и массопереноса тепло и массообмена в аппаратах утилизации теплоты.

Практическая значимость выполненной работы заключается в том, что основной элемент любых теплоутилизационных установок, устройства, системы - тепломасообменный апарат, от эффективности работы которого, в значительной мере, зависит эффективность инженерного решения, и, именно поэтому, рассмотрение в дальнейшем методов физико-математического моделирования процессов в тепломасообменных аппаратах-утилизаторах и основ инженерного проектирования, решение задач и научных проблем тепломасообменных установок, систем, устройств утилизации теплоты является актуальным в наше время.

Результаты. Повышение общей эффективности теплоутилизационных установок, устройства, системы - тепломасообмінний апарат.

Ключевые слова: форсунка, форсункова камера, система, устройство, установка, эффективность, тепло - и массообмен, факторы.

V. V. Surtaev Efficiency of heat and power plants, thermal circuits of systems, devices, heat recovery units (α -model)

The purpose of improving the overall efficiency of thermal power plants, thermal schemes of systems, devices, heat recovery plants, scientific task, the problem of improving the overall efficiency of various thermal power plants, their thermal schemes, systems of heat recovery devices, is not a complete list of current issues, scientific problems and problems, the decision of which is impossible without development of special techniques of the decision of engineering and technical problems, actual scientific problems and problems of designing and construction of contact heat and mass exchangers. Also the purpose of calculations of heat utilizers is definition of indicators of a condition of working substances and streams of an exchange of heat and weight of working substances heat utilizers from the thermodynamic point of view represent homogeneous or heterogeneous systems. Homogeneous systems are known to include those systems whose chemical composition and physical properties in all their parts are the same or change continuously without jumping from one point to another, and heterogeneous systems consist of two or more different homogeneous regions. Homogeneous regions in a heterogeneous system are its components or the phases of its components. After the division of the heteroge-

neous system into components and phases, it is possible to fully describe it. Components and phases are characterized by energy, enthalpy, entropy, etc ..

Theoretical provisions, methods, problem statement, models, limiting equilibrium states of modeling, generalized dimensionless indices for solving problems of constant heat and mass exchange of heat and mass exchange in heat utilization devices. Improving their overall efficiency. The main element of any heat recovery installations, device, system is a heat and mass exchange apparatus, the efficiency of an engineering solution largely depends on the efficiency of its operation, and that is why the further consideration of the methods of physical and mathematical modeling of processes in heat and mass exchange apparatus-utilizers and the basics of engineering design, solutions tasks and scientific problems of heat and mass exchange of installations, systems, heat recovery devices.

Key words: atomizers, a chamber with atomizers, system, device, installation, efficiency, heat and mass exchange, factors.

УДК 614.841.

Домнічев М.В., Нестеренко О.В., Близнюкова О.Ю., Марич В.М. Огляд сучасного стану пожежної безпеки та розробка рекомендацій щодо захисту працівників офісних приміщень

Мета. Метою даної роботи є проведення аналізу існуючої ситуації з пожежами в нашій державі, визначення основних небезпек та вибір моделей засобів індивідуального захисту для офісних працівників.

Методи дослідження. Теоретичний метод дослідження на основі обробки і інтерпретації статистики та порівняння ефективності запропонованих заходів.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є прикладне дослідження захисту працівників не виробничих приміщень від факторів пожежі при застосуванні різних респіраторів.

Практична значимість. Запропоновано використання нових фільтруючих респіраторів з метою зменшення ризику отруєння продуктами згоряння працівників не виробничих приміщень.

Результати. Вплив небезпечних і шкідливих факторів пожежі обумовлює погіршення стану здоров'я, втрату працездатності та може нести загрозу життю працівника.

Важливу роль у зменшенні числа загиблих і отруєних на пожежах працівників відіграє підбір і впровадження індивідуальних засобів захисту. Використання організаційних заходів спрямованих на попередження пожеж і мінімізацію наслідків, не завжди дають очікуваний ефект, що вимагає використовувати інші способи і засоби захисту працівників від шкідливих і небезпечних факторів пожежі.

У цьому випадку використовуються засоби індивідуального захисту від дії шкідливих і небезпечних факторів. Використання респіраторів дозволяє знизити вплив на працівника цих факторів і запобігти отруєнню чи загибелі.

Сучасним засобом захисту від факторів пожежі можуть бути фільтруючі респіратори, що не лише захищають органи дихання працівника, а також його очі, шкірні покриви та волосся на голові. При цьому вони мають такі переваги як невелику вагу, гарний огляд, простоту використання а також мінімальний опір диханню.

Все це в комплексі, дозволяє рекомендувати такі респіратори для використання під час проведення евакуації працівників не виробничих приміщень а також при виконання короткочасних робіт.

Ключові слова: пожежа, респіратор, безпека, газ, засоби індивідуального захисту.

Домнічев Н.В., Нестеренко О.В., Близнюкова О.Ю., Марич В.М. Обзор современного состояния пожарной безопасности и разработка рекомендаций по защите работников офисных помещений

Цель. Целью данной работы является проведение анализа существующей ситуации с пожарами в нашем государстве, определение основных опасностей и выбор моделей средств индивидуальной защиты для офисных работников

Методы исследования. Теоретический метод исследования на основе обработки и интерпретации статистики и сравнения эффективности предложенных мероприятий.

Научная новизна. Решение данной задачи составляет актуальность работы. Ее целью является прикладное исследование защиты работников производственных помещений от факторов пожара при применении различных респираторов.

Практическая значимость. Предложено использование новых фильтрующих респираторов с целью уменьшения риска отравления продуктами сгорания работников производственных помещений.

Результаты. Влияние опасных и вредных факторов пожара обуславливает ухудшение состояния здоровья, потерю трудоспособности и может нести угрозу жизни работника. Важную роль в уменьшении числа погибших и отравленных на пожарах работников играет подбор и внедрение индивидуальных средств защиты. Использование организационных мероприятий, направленных на предупреждение пожаров и минимизации последствий, не всегда дают ожидаемый эффект, требует использовать другие способы и средства защиты работников от вредных и опасных факторов пожара.

В этом случае используются средства индивидуальной защиты от воздействия вредных и опасных факторов. Использование респираторов позволяет снизить воздействие на работника этих факторов и предотвратить отравление или гибели.

Современным средством защиты от факторов пожара могут быть фильтрующие респираторы, не только защищают органы дыхания работника, а также его глаза, кожные покровы и волосы на голове. При этом они имеют такие преимущества как небольшой вес, хороший обзор, простоту использования а также минимальное сопротивление дыханию.

Все это в комплексе позволяет рекомендовать такие респираторы для использования во время проведения эвакуации работников производственных помещений а также при исполнении кратковременных работ.

Ключевые слова: пожар, респиратор, безопасность, газы, средства индивидуальной защиты.

Domnichen M., Nesterenko O., Blyznyukova O., Marich V. Overview of the current state of fire safety and development of recommendations for the protection of office premises

Aim. The purpose of this work is analyzing the current situation with fires in our country, identifying the main dangers and choosing the models of personal protective equipment for office workers.

Research methods. Theoretical research method is based on the processing and interpretation of statistics data and comparison of the effectiveness of the proposed ways of solving the problems.

Scientific novelty. Solving of this problem is relevant. Its aim is an applied study of the protection of non-industrial premises workers from the fire factors by using different respirators.

Practical significance. The use of new filter respirators is proposed in order to reduce the risk of poisoning of workers in non-industrial premises by combustion products.

Results. The impact of dangerous and harmful factors of fire causes deterioration of health, disability and may endanger the life of the worker. The selection and implementation of personal protective equipment plays an important role in reducing the number of workers killed and poisoned by fires. Using of organizational measures is aimed at preventing fires and minimizing the consequences. These measures do not always give the expected effect. This problem requires using of other methods and protecting of the workers from harmful and dangerous factors of fire.

In this case individual means of protection against harmful and dangerous factors are used. Using of respirators can reduce the impact of these factors on the workers and prevent poisoning or death.

A modern means of protection against fire factors can be filter respirators which not only protect the respiratory system of the worker, but also his eyes, skin and hair on the head. At the same time they have such advantages as small weight, the good review, ease of use and also the minimum resistance to breath.

All these measures in a complex allow to recommend such respirators for using during evacuation of workers of non-production premises and also for performing short-term works.

Key words: fire, respirator, safety, gases, protection.

Збірник наукових праць

В і с н и к

Криворізького національного університету

Випуск 51

Редактор, коректор
Комп'ютерний набір, верстка

Апанащенко С.І.
Підпригора Н.П.

Здано в набір 05.11.20. Підписано до друку 10.11.20 за рекомендацією Вченої Ради
Криворізького національного університету, протокол № 3 від 03.11.2020 року

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 13,02. Тираж 100 прим.

Замовл. № 18. Укр., рос.,англ.

Надруковано:
ФОП Сінельніков Дмитро Анатолійович
Державна реєстрація №2227000000063097
від 27.07.2016р
50050, м. Кривий Ріг, пр.Металургів, 30/49.
тел. (067) 777-17-33

Адреса видавництва:
вул.В.Матусевича, 11, Кривий Ріг, 50027

Криворізький національний університет, 2020.
Вип. 51, С. 3-109