шламу залежно від типу бурового розчину, що використовувався, на рівні від 51 % до 82 % для ІЕР Witer II та глиняно-полімерної основи відповідно.

Подяка. Дослідження виконувались у межах договору № 51.16-2020.СП/200 на розробку та передачу науково-технічної продукції на замовлення ТОВ «Укрнафтозапчастина». Проведені дослідження відповідають плану науково-дослідних робіт кафедри прикладної екології Сумського державного університету, пов'язаних із тематикою «Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище підприємств хімічної, машинобудівної промисловості та теплоенергетики» (номер держреєстрації 0116U006606).

Список літератури

1. **Рикусова Н. І.** Вплив на навколишнє природне середовище (нпс) бурових робіт та відходів буріння нафтогазових свердловин. Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Механіко-технологічні системи та комплекси. Харків : НТУ "ХПІ", 2017. № 20 (1242). С. 98-102.
2. **Ahammad Sharif M. D., Nagalakshmi N. V. R., Srigowri Reddy S., Vasanth G., Uma Sankar K.** Drilling Waste Management and Control the Effects. Journal of Advanced J Chemical Engineering. 2017. Vol. 7, Issue 1. 1000166. DOI: 10.4172/2090-4568.1000166.
3. **Shkop A., Tseitlin M., Shestopalov O.** Exploring the ways to intensify the dewatering process of polydisperse suspensions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 6, Issue 10 (84). P. 35–40. doi: 10.15587/1729-4061.2016.86085.
4. **Шапоров В. П., Шестопалов О. В., Мамедова О. О., Бахарєва Г. Ю.** та ін. Біологічні методи охорони навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами: монографія. Х.: НТУ «ХПІ», 2015. 216 с.
5. **Seader, J.D., Henley, E.J., Roper, D.K.**, Separation Process Principles, Wiley, New York, 2011.
6. **Mersmann, A., Kind, M., Stichlmair, J.**, Thermal Separation Technology, Springer, Berlin, 2011.
7. **Рикусова Н. І.** Сучасні методи переробки та утилізації відходів буріння нафтогазових свердловин. Екологічні науки. 2018. Випуск 1 (20), Том 2. С. 130–135.
8. ТОВ «Укрнафтозапчастина». Режим доступу: <http://ukrnz.com.ua/>
9. **Шкоп А.О.** Закономірності процесів розділення шламових вод з полідисперсною твердою фазою в осаджувальних центрифугах: дисертація ... канд. техн. наук, спец.: 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології; наук. керівник М.А. Цейтлін. Суми: СумДУ, 2017. 136 с.
10. ДНВП «Геоінформ України». Режим доступу: <http://geoinf.kiev.ua/wp/interaktyvni-karty-spetsdozvoliv.htm>
11. **Грищенко О.Л.** Звіт з оцінки впливу на довкілля планованої діяльності Семиренківського газоконденсатного родовища. Реєстраційний номер справи про оцінку впливу на довкілля планованої діяльності 20187111203. 2018. С. 10, 132.
12. ТОВ «Геосинтез інженіринг». Witer II - інвертний емульсійний буровий розчин. Режим доступу: <http://gse.ua/produktiya/sistemi-promivalnikh-ridin/272-witer-ii-invertnij-emulsiyjnij-burovij-rozchin.html>.
13. Грунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей : ДСТУ Б В.2.1-17:2009. – [Чинний від 2010-10-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – IV, 34 с. – (Національний стандарт України).
14. Якість ґрунту. Визначання сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод : ДСТУ ISO 11465–2001. – [Чинний від 2003-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2002. – IV, 5 с. – (Національний стандарт України).
15. **Cannon R. W., MI-Swaco, Dale Martin.** Reduction of Synthetic Based Fluid Discharges Offshore by the Use of Vertical Basket Centrifuges. Society of Petroleum Engineers Inc., 2001.

Рукопис подано до редакції 02.10.2020

УДК 622.02 : 552.513.1

С.Ф. ВЛАСОВ, д-р техн. наук, професор, С.Є. ТИМЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент,
Є.В. МОЛДАВАНОВ, аспірант
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІСКОВИКІВ, ЩО ЗАЛЯГАЮТЬ У ПОКРІВЛІ РОЗРОБЛЮВАНИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ В УМОВАХ ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Мета. Виконати статистичний аналіз фізико-механічних властивостей пісковиків (щільності, пористості, межі міцності на стиск, тріщинуватості та водопритливості), як окремої літологічної підсистеми, на підставі комплексу зібраних даних геологічного прогнозу шахт Західного Донбасу і встановити закономірності розподілу випадкових величин.

Методи дослідження. У роботі використано статистичний метод дослідження геологічних даних технічної документації, який спрямовано на збір первинного статистичного матеріалу, обробку, систематизацію та групування,

від характеристик окремих елементів до узагальнюючих показників у формі абсолютних, відносних або середніх величин упорядкування, обробки й інтерпретації даних.

Наукова новизна. В результаті проведення статистичного аналізу вперше встановлено закономірності розподілу випадкових величин. А саме, зміна випадкових величин щільності пісковиків, а також водопритливу з них, мають експоненційний розподіл. Зміна випадкових величин пористості, межі міцності пісковиків на стиск, а також їх тріщинуватості відповідають розподілу Пуассона. Всі зміни випадкових величин описано рівняннями. Встановлені закономірності дозволять підвищити точність результатів моделювання при обґрунтуванні технологічних параметрів покровового переміщення очисного вибою вздовж виїмкового стовпа.

Практичне значення. Аналіз фізико-механічних властивостей дозволить значно скоротити обсяг розрахунків у моделюванні геомеханічних процесів, підвищити надійність розрахунків шляхом ймовірнісно-статистичних уявлень про природу та механізм посадки основної покрівлі. Цей аналіз у подальшому дозволить виконати моделювання покровового переміщення очисного вибою у просторовій геомеханічній моделі виїмкової ділянки з урахуванням мінливої наявності пісковика у покрівлі, задля прогнозу його впливу на технологію очисного виїмання, та підвищити ефективність видобутку кам'яного вугілля на шахтах Західного Донбасу.

Результати. Наведено результати статистичного аналізу щільності, пористості, межі міцності на стиск, тріщинуватості та водопритливу пісковиків. На підставі виконання статистичних аналізів встановлено закономірності розподілу випадкових величин.

Ключові слова. Водопритлив, межа міцності, пісковики, пористість, тріщинуватість, фізико-механічні властивості, щільність.

doi:10.31721/2306-5435-2020-1-108-9-15

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Однією з передумов проблеми керування породами покрівлі є їх фізико-механічні властивості, а саме: щільність, пористість, межа міцності на одновісний стиск, структурна неоднорідність (тріщинуватість), водопритлив, з урахуванням глибини їх залягання. Ці властивості негативно позначаються на технологічних процесах вуглевидобутку, зокрема можна навести приклади випадку обрізання порід покрівлі на рівні лінії вибою, що призвело до зменшення висоти робочого простору та посадки секцій механізованого кріплення «на жорстку базу» на шахтах «Західно-Донбаська» (863 лава), «ім. Сташкова» (636 – північна лава), «ім. Героїв Космосу» (1174 лава), «Дніпровська» (1099 лава), а також на шахті «Степова» (151 лава), де в основній покрівлі залягали пісковики потужністю 3,2 – 21,0 м.

Аналізуючи причинно наслідкові зв'язки цих явищ, залишаються поза увагою фізико-механічні властивості пісковиків, як окремої літологічної підсистеми, які є одним з вирішальних чинників у появі геодинамічних проявів при веденні очисних робіт.

Потужні пісковики негативно впливають на умови відпрацювання вугільних пластів, особливо, якщо вони залягають у їх покрівлі та мають підвищену тріщинуватість поблизу тектонічних порушень, у зонах «хибної» покрівлі, в місцях руслових розмивів та розщеплення пластів.

Тому, наступним етапом дослідження впливу пісковиків на напружено-деформований стан (НДС) очисних виробок буде виконання статистичного аналізу їх фізико-механічних властивостей.

Аналіз досліджень і публікацій. За весь період розвідки й експлуатації ділянки вугільного родовища, вивченням фізико-механічних властивостей порід займалися Павлоградська гідро-геологічна партія, Богданівська та Петропавлівська ГРП, Павлоградська ГРЗ [1].

Лабораторні дослідження вмісних порід виконувались ТОВ «Укрпівденьгеологія», ІГТМ НАН України, НТУ «Дніпровська політехніка», ДРГП «Донецькгеологія», ТОВ «Відділення геології та екології АГНУ» та ін.

Що ж стосується аналізу досліджень та публікацій вітчизняних вчених стосовно моделювання НДС шаруватого породного масиву, слід відмітити роботу Р.І. Мануйленка, який провів дослідження НДС вуглепородного масиву під час відпрацювання вугільного пласта [2]. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей О.В. Калініченко визначив зміну НДС масиву в умовах шахтного поля шахти «Гігант-Глибока» [3]. Науковцями з НТУ «Дніпровська політехніка» було виконано чисельне моделювання впливу поверхні тріщин при оцінці міцності породного масиву [4]. А.В. Мартовицький у своїй роботі [5], виконав чисельний аналіз змін НДС гірського масиву при послідовному посуванні очисного вибою від монтажно-ї камери. Групою дослідників УкрНДМІ НАН України було досліджено розподіл НДС масиву гірських порід навколо очисного вибою за допомогою комп'ютерного моделювання [6]. С.Ф. Власов [7] запропонував рішення задачі з обґрунтування технологічних параметрів відпрацювання виїм-

кових стовпів на базі результатів моделювання покрокового переміщення очисного вибою в просторовій геомеханічній моделі виїмкової ділянки, розташованої в шаруватому трансверсально-ізотропному масиві гірських порід. Д.В. Бабець визначив зміни НДС гірських порід покрівлі на початковій стадії відходу лави від її місця монтажу, для розрахунку підтримки несучої здатності механізованого кріплення з урахуванням збільшення швидкості посування очисного вибою [8]. В.В. Приходько та Н.П. Уланова запропонували математичний метод визначення первинного кроку посадки основної покрівлі, що базується на аналізі НДС породного масиву [9]. О.М. Шашенком було викладено фізичні основи міцності гірських порід і породного масиву та наведено приклади чисельного моделювання пружно-пластичних задач в геомеханіці [10]. Н.В. Хозяйкіною [11], наведено результати досліджень, які дозволили встановити закономірності граничного напруженого стану у складно-структурній покрівлі, що дозволяють прогнозувати момент руйнування порід основної покрівлі.

Що ж стосується досліджень та публікацій закордонних вчених, то можна відмітити роботу [12], в якій Jiachen Wang та Zhigang Li виконали аналіз розподілу НДС вуглепородного масиву навколо очисної тривимірної моделі виробки виїмкового стовпа в умовах шахт КНР. S.R. Islavath та D. Deb провели дослідження взаємодії механізованого кріплення з породами покрівлі у тривимірній геомеханічній моделі [13]. А.К. Verma розробив двовимірну геомеханічну модель для обґрунтування взаємодії механізованого кріплення з покрівлею вугільного пласта в умовах вугільних шахт Індії з включенням різних варіантів типових гірничотехнічних умов [14] – [15].

У вищезазначених працях автори не врахували у своїх дослідженнях пісковики, як окрему літологічну підсистему, в плані фізико-механічних властивостей, а саме: їх щільність, пористість, межу міцності на стиск, тріщинуватість, а також водоприплив. Тому вирішення цього питання є дуже важливим для подальших досліджень.

Постановка завдання. В роботі досліджується статистичний аналіз фізико-механічних властивостей пісковиків, як окремої літологічної підсистеми, на підставі комплексу зібраних даних геологічного прогнозу шахт Західного Донбасу. Зокрема, необхідно виконати аналіз щільності, пористості, межі міцності на стиск, тріщинуватості пісковиків, а також їх водоприпливу. За результатами виконаного аналізу встановити закономірності розподілу випадкових величин.

Викладення матеріалу та результати. Актуальним завданням прогнозу аварійних випадків у лаві, пов'язаних з посадкою секцій механізованого кріплення «на жорстку базу», є систематизація характеру розподілу щільності пісковиків по досліджуваній ділянці, на якій мали місце бути аварійні ситуації.

Спираючись на теорію ймовірності, з метою побудови ймовірнісної моделі масових випадкових явищ, виконано статистичний аналіз щільності пісковиків, який наведено на рис. 1.

Рис. 1. Статистичний аналіз щільності пісковиків

Дивлячись на рис. 1, можна стверджувати, що зміна випадкових величин коливання потужності пісковиків має експоненційний характер розподілу з $\lambda = 2,34$.

Випадкова величина щільності пісковиків відповідає експоненційному розподілу з параметром $\lambda > 0$, її функція має вигляд

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $\lambda e^{-\lambda x}$ – густина ймовірності, $x \in (0, \infty)$.

Випадкова величина щільності пісковиків є неперервним аналогом дискретного геометричного розподілу.

З рис. 1 видно, що зі збільшенням щільності пісковиків прямопропорційно зменшується їх математичне очікування.

Аналіз показав, що величина щільності пісковиків не виходить за межі 2,24 – 2,84 т/м³, це каже про те, що породи за своєю природою є вельми неоднорідними. Середнє значення щільності пісковиків по досліджуваній площі становить 2,4 т/м³. Відомо, що пісковики в середньому на 2,9 % мають більшу щільність за алевроліти, на 2,5 % за аргіліти, на 7,0 % за вапняки та на 46,0 % більш щільніші за кам'яне вугілля.

Також було виконано статистичний аналіз масових випадкових величин пористості пісковиків, який приведено на рис. 2.

Рис. 2. Статистичний аналіз пористості пісковиків

На рис. 2 показано, що зміна випадкових величин пористості пісковиків відповідає розподілу Пуассона з $\lambda = 13,0$. Ці випадкові величини можна описати таким рівнянням

$$Pr(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, \quad k \in N_0, \quad (2)$$

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

Проаналізувавши вихідні дані, можна стверджувати, що пористість пісковиків на досліджуваній ділянці коливається в межах від 7,0 % до 27,0 %, середнє ж значення становить 16,6 %. Порівнюючи значення пористості пісковиків з іншими вмісними породами, можна стверджувати, що пісковики більш пористі. Так, наприклад, алевроліти та аргіліти в середньому менш пористі за пісковики в середньому на 30,0 %, вапняки – на 50,0 %, кам'яне вугілля – на 38,0 %. Ці факти ясно вказують на те, чому саме пісковики є найбільш водовмісними породами серед інших літологічних різностей.

У процесі дослідження межі міцності пісковиків на одновісний стиск було виконано їх статистичний аналіз за даними шахт Західного Донбасу, який показано на рис. 3.

Відповідно до рис. 3 можна констатувати, що зміна випадкових величин межі міцності пісковиків на одновісний стиск має характер розподілу Пуассона з $\lambda = 30$. Зміну випадкових величин можна описати рівнянням (2).

За результатами дослідження встановлено, що межа міцності пісковиків на шахтах Західного Донбасу коливається в межах від 8,5 МПа до 80,0 МПа, а в одиничних випадках зустріча-

ється значення 144,9 МПа, це стосується пісковиків у вигляді лінз. Середнє значення межі міцності становить 30,0 МПа.

Рис. 3. Статистичний аналіз межі міцності пісковиків на одинісний стиск

З метою побудови ймовірнісної моделі масових випадкових явищ розглянуто статистичний аналіз тріщинуватості пісковиків на основі зібраних даних, який наведено на рис. 4.

Рис. 4. Статистичний аналіз тріщинуватості (структурної неоднорідності) пісковиків

На рис. 4 показано, що зміна випадкових величин тріщинуватості пісковиків відповідає розподілу Пуассона з $\lambda = 6,0$. Ці випадкові величини можна також описати рівнянням (2).

На ділянці, яка експлуатується ПрАТ «ДТЕК Павлоградугілля», показник тріщинуватості (структурної неоднорідності), знаходиться в межах від 0,0 до 16,0 тріщин на погонний метр, а в одиничних випадках зустрічається значення 33,0 тріщини на погонний метр, тому його не прийнято до уваги. Найбільш поширеною на заданій ділянці структурною неоднорідністю є 4,0 – 8,0 тріщин на погонний метр. Середнє ж значення тріщинуватості є 6,8 тріщин на погонний метр.

У процесі дослідження водоприпливів з пісковиків також було виконано статистичний аналіз, який приведено на рис. 5.

Рис. 5. Статистичний аналіз водоприпливу в лаву з пісковиків

З рис. 5 видно, що зміна випадкових величин коливання водопритливів з пісковиків має характер експоненційного розподілу з $\lambda = 2,34$.

Випадкова величина водопритливів з пісковиків відповідає експоненційний розподіл з параметром $\lambda > 0$, її функція має вигляд рівняння (1).

Випадкова величина водопритливів з пісковиків є неперервним аналогом дискретного геометричного розподілу.

З рис. 5 можна стверджувати, що зі збільшенням водопритливів з пісковиків, прямопропорційно зменшується їх математичне очікування.

Аналіз вихідних даних показує, що випадкова величина водопритливів у лаву з пісковиків коливається в межах $0,0 - 60,0 \text{ м}^3/\text{год}$. Середній показник водопритливів з пісковиків становить $15,0 \text{ м}^3/\text{год}$.

Висновки та напрям подальших досліджень. У результаті проведення статистичного аналізу було встановлено, що розподіл випадкових величин щільності з $\lambda = 2,34$ та водопритливів з $\lambda = 6,0$ мають вигляд експоненційного розподілу з параметром $\lambda > 0$. Математичне очікування є неперервним аналогом дискретного геометричного розподілу. З цього приводу можна сказати, що зі збільшенням щільності, а також водопритливів з пісковиків прямопропорційно зменшується їх математичне очікування. Характер розподілу випадкових величин описано рівнянням.

Також на основі даних було встановлено, що розподіл випадкових величин пористості пісковиків з $\lambda = 13$, межі їх міцності на одновісний стиск з $\lambda = 13$, а також тріщинуватості з $\lambda = 6$, мають характер розподілу Пуассона. Характер розподілу описано рівнянням.

Встановлені закономірності дозволять підвищити точність результатів моделювання при обґрунтуванні технологічних параметрів покрокового переміщення очисного вибою вздовж виймкового стовпа.

Список літератури

1. Геолого-промышленный очерк Западного Донбасса / под. ред. **М. И. Струева**. – Павлоград: Павлоградская геолого-разведочная партия, 1968-1974. – 1974. – 589 с.
2. **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.
3. **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.
4. **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.
5. **Мартовицкий А. В.** Исследование параметров обрушения сложноструктурного породного массива при движении лавы от монтажной камеры на ПСП «шахта Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» / **А. В. Мартовицкий** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – Вип. 31. – С. 54 – 59.
6. **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.
7. **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.
8. **Sdvyzhkova O.** Rock state assessment at initial stage of longwall mining in terms of poor rocks of Western Donbass / **O.Sdvyzhkova, D. Babets, K. Kravchenko, A. Smirnov** // New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining. – 2015. – pp. 65 – 70.
9. **Prykhodko V.** Mathematical modeling of tight roof periodical falling / **V.Prykhodko, N. Ulanova, O. Haidai, D. Klymenko**. // In E3S Web of Conferences. – 2018. – №60. – pp. 1 – 8.
10. **Шашенко О.М.** Деформованість та міцність масивів гірських порід: моногр. / **О.М. Шашенко, О.О. Сдвижкова, С.М. Гапєєв**. – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – 224 с.
11. **Хозяйкіна Н.В.** Обваления пород покрывлі в лавах положистих вугільних пластів: моногр. / **Н.В. Хозяйкіна**. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 126 с.
12. **Jiachen W.** Study on Coal Face Stability and Movement Behavior of the Overlying Rock Strata of Longwall Topcoal Caving in the Soft Coal Seam / **W. Jiachen, L. Zhigang** // Journal of University of Science and Technology Beijing. – 2005. – №27. – pp. 21 – 28.
13. **Islavath S.** Numerical analysis of a longwall mining cycle and development of a composite longwall index / **S. Islavath, D. Deb, H. Kumar** // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2016. – №89. – pp. 43–54.

14. **Verma A.** Numerical Analysis of the Interaction between Hydraulic Powered Support and Surrounding Rock Strata at Indian Longwall Faces / **A. Verma, D. Deb** // The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics. – 2008. – pp. 394 – 402.

15. **Verma A.** Longwall face stability index (LFSI): A novel approach for estimation of chockshield pressure and face convergence / **A. Verma, D. Deb** // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2008. – №108. – pp. 763 – 774.

Рукопис подано до редакції 23.10.2020

УДК 004.896:681.3:621.311

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

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ЯК ВІДВЕРНЕНОГО ЗБИТКУ ВІД АВАРІЙ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Метою статті є виклад результатів оцінки економічної ефективності системи підтримки прийняття рішень (СППР) в аварійних режимах експлуатації об'єкта управління. Розроблені метрики оцінки якості СППР і проведена оцінка якості програмного забезпечення розробленої системи підтримки прийняття рішень. Проведена кількісна оцінка економічного ефекту підвищення надійності оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП) від використання СППР при ліквідації аварійного порушення режиму електроенергетичної системи (ЕЕС).

Методи дослідження полягають в об'єднанні математичної моделі електричної мережі, моделі функціонування програмної системи підтримки рішень і моделі міжгалузевого балансу виробництва. Сформована оцінка величини збитку від перерв електропостачання і відхилень показників якості електроенергії. У роботі використані методи теорії множин, математичної логіки, теорії автоматів, електроенергетичних систем, теорії графів, математичної статистики.

Наукова новизна полягає в новій моделі розрахунку економічного ефекту від застосування інтелектуальної системи в аварійних режимах. Економічний ефект від впровадження СППР досягається за рахунок автоматизації діяльності диспетчера по оцінці станів енергосистеми. Застосування СППР забезпечує приріст гранично допустимого часу безперервної роботи ОДП при надійній ліквідації аварії. Доведено економічну доцільність впровадження та експлуатації СППР в середовищі діючої автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ) в нормальних і аварійних режимах роботи ЕЕС.

Практична значимість роботи полягає в удосконаленні методів розрахунку економічного ефекту від впровадження системи підтримки прийняття рішень в нормальних і аварійних режимах. За результатами порівняльного аналізу метрик оцінки якості СППР, розроблена на основі еволюції інкорпорації професійних онтологій, показала ряд переваг перед аналогами по визначальним критеріям. Оцінка економічної ефективності проведена для двох режимів експлуатації СППР – нормальних і аварійних.

Результатами роботи є практичні показники економічної доцільності впровадження та експлуатації СППР в середовищі діючої АСДУ в нормальних і аварійних режимах роботи ЕЕС. Впровадження та експлуатація СППР в нормальному режимі роботи енергосистеми дозволяє знизити трудові і вартісні витрати, домогтися абсолютного скорочення вартісних витрат, скоротити час виконання типових операцій і підвищити продуктивність праці

Ключові слова: аварійний стан, збиток, енергосистема, регулюючий ефект, база знань, автоматизація

doi:10.31721/2306-5435-2020-1-108-15-20

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Аналіз фактичних даних показав, що використання СППР в зв'язці ОДП + СППР при ліквідації аварійних ситуацій в енергосистемі дає значний позитивний ефект, що виражається в підвищенні надійності ОДП і збільшенні гранично допустимого часу безперервної експлуатації ОДП при безумовній ліквідації аварії.

Економічний ефект від впровадження та використання СППР в аварійних ситуаціях, що забезпечується за рахунок підвищення надійності диспетчерського персоналу, може бути виражений вартістю відверненого збитку від аварії конкретного типу в енергосистемах. Тому необхідна оцінка величини збитку від перерв електропостачання і відхилень показників якості електроенергії. До таких базових показників відносяться тривалість перерв електропостачання споживачів, відхилення напруги і частоти в мережі.

З метою виявлення аварійних станів і граничних умов експлуатації аналізувалися електри-