

ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ ТЕХНІКО–МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГОЛОВНОЇ ВОДОВІДЛИВНОЇ УСТАНОВКИ В ЗАДАЧАХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ**Ю. А. Папайка, О. Г. Лисенко, М. В. Рогоза, К. С. Родна**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна.

E-mail: paraika@ukr.net; lysenkoag@ukr.net; rogozam@nmu.org.ua; rodna.k.s@nmu.one

С. М. Якимець

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ysm_seem@meta.ua

Дана публікація спрямована на дослідження взаємозв'язку показників електромагнітної сумісності при оцінюванні достовірності техніко-математичних моделей. У ході досліджень використовувалися методи теорії ймовірностей та закони розподілу випадкових величин у задачах електромагнітної сумісності та надійності електропостачання. У статті розглянуто актуальну науково-становку (ГВУ) гірничого підприємства. Зазначена та підкреслена необхідність оцінки ступеня відповідності або адекватності застосовуваної імітаційної математичної моделі та реального виділеного технічного об'єкта. Запропонована математична модель, яка охоплює множину можливих режимних параметрів для технологічних установок даного класу. Отримані необхідні статистичні оцінки енерготехнічної математичної моделі об'єкту дослідження – головної водовідливної установки вугільної шахти. Зроблено оцінку ступеня відповідності або достовірності застосовуваної імітаційної техніко-математичної моделі й указанного реального технічного об'єкта. Приведені оцінки достовірності техніко-математичної моделі, засновані на статистичному аналізі значень розрахункових параметрів режиму роботи ГВУ, визначені при використанні різних методик розрахунку. Здійснено перевірку адекватності енерготехнічної імітаційної математичної моделі розрахунку режимів ГВУ. Розкрито взаємозв'язок технічних та електричних параметрів розробленої математичної моделі ГВУ, що дозволяє отримати нові співвідношення параметрів для оптимізації витрат та зменшення втрат електроенергії. Крім того, отримані результати моделювання розкривають нові можливості формування енергетично ефективних режимів роботи при впровадженні комплексу практичних рішень при роботі підприємства.

Ключові слова: головна водовідливна установка, математична модель, насоси, оцінка вірогідності, електромагнітна сумісність, статистичний аналіз.

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ТЕХНИКО–МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЛАВНОЙ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ**Ю. А. Папайка, М. В. Рогоза, А. Г. Лысенко, Е. С. Родная**

Национальный технический университет «Днепро́вская политехника»

проспект Дмитрия Яворницкого, 19, г. Днепр, 49005, Украина. E-mail: rogozam@nmu.org.ua

С. Н. Якимец

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ysm_seem@meta.ua

Данная публикация направлена на исследование взаимосвязи показателей электромагнитной совместимости при оценке достоверности технико-математических моделей. В ходе исследований использовались методы теории вероятностей и законы распределения случайных величин в задачах электромагнитной совместимости и надежности электроснабжения. В статье рассмотрена актуальная научно-практическая проблема исследования вероятности и достоверности моделирования режимов главной водоотливной установки (ГВУ) горного предприятия. Указанная и подчеркнута необходимость оценки степени соответствия или достоверности применяемой имитационной математической модели и реального выделенного технического объекта. Предложенная математическая модель, которая охватывает множество возможных режимных параметров для технологических установок данного класса. Получены необходимые статистические оценки энерготехнической математической модели объекта исследования – главной водоотливной установки (ГВУ) угольной шахты. Оценена степень соответствия или достоверности применяемой имитационной технико-математической модели и указанного реального технического объекта. Приведены оценки достоверности технико-математической модели, основанные на статистическом анализе значений расчетных параметров режима работы, определенные при использовании различных методик расчета. Осуществлена проверка адекватности энерготехнической имитационной математической модели расчета режимов ГВУ. Раскрыта взаимосвязь технических и электрических параметров разработанной математической модели ГВУ, что позволяет получить новые соотношения параметров для оптимизации затрат и уменьшения потерь электроэнергии. Кроме того, полученные результаты моделирования раскрывают новые возможности формирования энергетически эффективных режимов работы при внедрении комплекса практических решений при работе предприятия.

Ключевые слова: главная водоотливная установка, математическая модель, насосы, оценка достоверности, электромагнитная совместимость, статистический анализ.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Вугільна промисловість відіграє вирішальну роль в забезпеченні енергетичної безпеки України та зростанні внутрішнього валового продукту. За 2018 рік діючі підприємства «ДТЕК Павлоградвугілля» підвищили видобуток вугілля до 20 млн. тонн шляхом вводу в експлуатацію нових лав та дільниць. Ефективне та безаварійне зростання виробництва на вугільних шахтах неможливе без погодженої роботи всіх технологічних ланок, системи електропостачання та урахування людського фактору. Моделювання режимів роботи основних технологічних ланок шахти, адекватні та достовірні результати якого покладено в комплексне рішення проблеми електромагнітної сумісності є актуальною науковою задачею, рішення якої дозволить отримати нові знання та методики реалізації оптимальних режимів роботи [1–4].

Критерій оцінки енергоефективності – енергоекономічний показник, що подається у вигляді адитивної функції витрат. Адитивність визначається у вигляді властивості математичних величин, яка покладається в тім, що значення досліджуваної величини, яка відповідає цілочисельному об'єкту, дорівнює сумі значень величин, відповідним його частинам, яким би чином не був розбитий досліджуваний об'єкт. Екстремальні значення такої функції визначаються взаємодією технічних, енергетичних і економічних параметрів споживача електромагнітної енергії – головної водовідливної установки (ГВУ) вугільної шахти.

Відокремлено енергоекономічні ситуації, при яких необхідно проводити вибір критерію оцінки енергоефективності режимів роботи ГВУ в умовах визначеності, конфлікту, невизначеності та ризику.

Вибір критерію оцінки енергоефективності організаційно-технічних заходів в економічних умовах визначеності уявляється можливим тільки в стабільних економічних і гідрогеологічних умовах функціонування вугільної шахти.

Рішення задачі вибору критерію оцінки енергоефективності при регулюванні режимів електроспоживання вугільних шахт в умовах конфлікту запропоновано в роботах [5, 6].

Наразі величини тарифів на споживану електромагнітну енергію $k_{obl.en.}$, грн/кВт год, регіональних енергопостачальних компаній безперервно змінюються. Тарифні коефіцієнти k_{tar} у виділених інтервалах часу також не залишаються постійними величинами – вони визначаються правовими методами (постановами Національної комісії регулювання електроенергетики України). В основі визначення цих тарифів лежить графік витрати умовного палива (у вигляді функції витрат) в генеруючій підсистемі електроенергетичної системи (ЕЕС) України. Змінюються також гідрогеологічні умови при експлуатації ГВУ вугільних шахт, що приводить до зміни енерготехнічних режимів роботи.

Задача вибору критерію оцінки енергоефективності режимів роботи ГВУ вугільних шахт в умовах невизначеності електромагнітної стану та ризику з метою зниження експлуатаційних витрат як генератора так і споживача електромагнітної енергії є но-

вою та такою, що вимагає комплексного аналізу та всебічного дослідження.

Відомі методи вибору критерію оцінки енергоефективності режимів роботи ГВУ вугільних шахт в умовах невизначеності та ризику. Критерій оцінки енергоефективності режимів роботи ГВУ вугільних шахт у таких умовах подається у вигляді кількісного співвідношення, що визначає імовірність обраного керуючого рішення на основі статистичних даних [5].

Використання методів вибору критерію оцінки, заснованих на застосуванні теореми Байеса, у поточних економічних умовах виправдано тільки тоді, коли на основі статистичних даних отримана деяка інформація про попередні становища досліджуваного технічного об'єкта. Практичне застосування байєсовських методів вимагає значної кількості обчислень. Тому використання таких методів оцінок зв'язано з одержанням інформації про минуле та поточне становище ГВУ та подальшим розвитком технічних засобів контролю, математичного та програмного забезпечення.

Метою роботи є дослідження достовірності та адекватності моделювання режимів головної водовідливної установки гірничого підприємства.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Імітаційна математична модель режимів роботи ГВУ представлена як сукупність математичних і логічних залежностей, що відображають об'єктивні взаємозв'язки режимів роботи ГВУ з гірничо-геологічними і технічними факторами.

Для визначення закономірностей функціонування ГВУ необхідно отримання кількісних співвідношень. Отримання таких співвідношень відображає технічну і енергетичну сутності об'єкта дослідження. Для вирішення наукових завдань аналізу і синтезу, отримані кількісні співвідношення, що визначають можливі технічні та енергетичні стану ГВУ. В якості таких кількісних співвідношень представлені ймовірні величини режимних витрат, режимного напору, поточної потужності і гідромеханічного ККД насосних агрегатів в складі ГВУ при їх спільній роботі на приєднану трубопровідну мережу.

Процес розробки імітаційної математичної моделі режимів роботи ГВУ в загальному випадку представлений ймовірнісною науковою задачею, що вимагає застосування відповідного математичного апарату. Неповнота і недостовірність інформації, яка дозволяє здійснювати правдоподібні оцінку і прогнозування майбутніх технічних станів ГВУ в загальному технологічному середовищі, неминуче призводить до помилок їх оцінювання.

Виділено два види імітаційних математичних моделей:

- імовірнісні моделі;
- детерміновані (формалізовані) моделі.

Розробка імітаційної математичної моделі режимів роботи ГВУ розділена на наступні етапи:

- формування системи обмежень і припущень, що забезпечують надійність імітаційної математичної моделі ГВУ, (загальна ідентифікація моделі);
- підготовка вихідних даних необхідних для побудови імітаційної математичної моделі ГВУ і по-

дання їх у відповідній математичній формі (структурна ідентифікація моделі);

– розробка імітаційної математичної моделі режимів роботи ГВУ;

– оцінка надійності імітаційної математичної моделі ГВУ;

– аналіз чутливості (ступеня мінливості) кількісних результатів моделювання до зміни значень вхідних параметрів розробленої імітаційної математичної моделі ГВУ.

При дослідженні складних технічних систем імітаційні математичні моделі лише ймовірно відображають реальний енерготехнічний стан виділеного технічного об'єкта. Тому необхідно зробити оцінку ступеня відповідності або достовірності застосовуваної імітаційної математичної моделі й реального виділеного технічного об'єкта – головної водовідливної установки (ГВУ) вугільної шахти. Найбільш повно ця відповідність відстежується через прийняття показників точності й надійності різних методик оцінки імітаційних математичних моделей [7].

В основі оцінки достовірності енерготехнічної математичної моделі покладено статистичний аналіз значень розрахункових параметрів режиму роботи багатоагрегатної ГВУ, одержаних при використанні різних методик розрахунку. При порівнянні, використано методики розрахунку режимів роботи насосних агрегатів на приєднану трубопровідну мережу, запропоновані в роботах [5, 8, 9]. Припущено, що у названих наукових роботах, для одержання оцінок точності й надійності технічних параметрів розрахунку ймовірних режимів роботи ГВУ використовувалася статистичний метод найбільшої правдоподібності.

Для визначення точності й надійності оцінки ймовірних розрахункових технічних параметрів ГВУ необхідно одержати довірчий інтервал, а для визначення надійності – довірчу ймовірність. Інтервальне оцінювання особливо необхідно при обмеженому числі спостережень, коли точкова оцінка недостатньо надійна [10]. При обмеженому числі спостережень точкова оцінка поточних розрахункових параметрів можливих режимів роботи ГВУ може призвести до значних інженерних помилок. Покажемо, що ймовірні точкові оцінки елементів вектора \hat{Y} накладаються довірчим інтервалом і довірчою ймовірністю β_a при використанні ймовірних точкових оцінок параметрів режимів роботи ГВУ для визначення достовірності (апостеріорного переконання) запропонованої методики визначення точкових оцінок режимів роботи ГВУ не перевищує ймовірного заданого апостеріорі значення $\beta_a \approx 0,95$ (яка ймовірно представляється правдоподібною).

Припустимо, що для значення розрахункового параметра a_i , $a_i \in \hat{Y}$ отримана апостеріорі досить незміщена оцінка \tilde{a} . Визначимо ймовірне значення помилки визначення поточного параметра ε_{β_a} . Задаючи довірчу ймовірність (з рівнем значимості $\alpha_{a_i} \approx 0,05$, $\beta_a \approx 1 - \alpha_{a_i}$, $\beta_{a_i} \approx 0,95$), визначимо таке

поточне значення $\varepsilon_{\beta_a} > 0$, для якого довірча ймовірність:

$$P(\tilde{a} - \varepsilon_{\beta_a} < a_i < \tilde{a} + \varepsilon_{\beta_a}) \approx \beta_{a_i}. \quad (1)$$

Приблизна рівність (1) означає, що невідоме значення величини достеменного параметра a_i з довірчою ймовірністю β_{a_i} потрапляє в інтервал:

$$I_{\beta_a} \approx (\tilde{a} - \varepsilon_{\beta_a}, \tilde{a} + \varepsilon_{\beta_a}). \quad (2)$$

Вибір довірчої ймовірності $\beta_{a_i} \approx 0,95$ визначає наступні міркування. Якщо проведено досить велику кількість вибірок значень оцінюваного параметра a_i , то 95% значень із цієї вибірки визначають такі довірчі границі, усередині яких буде перебувати істинне значення параметра a_i , і лише 5% будуть перебувати поза довірчими границями. Математичне очікування \hat{m}_a параметра a_i може або потрапити в цей інтервал (і тоді ймовірність події дорівнює одиниці), або не потрапити в такий інтервал (ймовірність події дорівнює нулю). Отже, довірча ймовірність не пов'язана з оцінюваними параметрами – вона зв'язана тільки із границями інтервалу, обумовленими випадковістю вибірки при невідомих значеннях математичного очікування й середнього квадратичного відхилення оцінки досліджуваного параметра.

Інтервал I_{β_a} є довірчим інтервалом, а ймовірність β_a – довірчою ймовірністю або мірою надійності, що відповідає істинному (точковому) виділеному параметру a_i , що накладається довірчим інтервалом. Очевидно, що ймовірно істинні (точкові) значення розглянутих параметрів множини Y також перебувають у відповідних довірчих інтервалах.

Нехай проведено n незалежних нерівноточних вимірів виділеного параметра a_i з невідомими математичним очікуванням m_a і дисперсією D_a . На підставі апостеріорних і апостеріорних даних отримані необхідні статистичні оцінки:

$$\tilde{m}_{a_i} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}; \tilde{D}_{a_i} = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \tilde{m}_{a_i})^2}{n-1}, \quad (3)$$

де \tilde{m}_{a_i} – ймовірне математичне очікування виділеного значення параметра a_i ($a_i \in Y$); \tilde{D}_{a_i} – дисперсія виділеного параметра a_i ; n – кількість незалежних нерівноточних вимірів значень виділеного параметра a_i .

Визначимо довірчий інтервал I_{β_a} , що відповідає довірчій ймовірності β_{a_i} для математичного очікування виділеного ймовірного параметра a_i ($a_i \in \hat{Y}$). Величина \tilde{m}_{a_i} являє собою ймовірне математичне очікування незалежних розподілених випадкових величин параметра a_i , а величина \tilde{D}_{a_i} – відповідну ймовірну дисперсію, тоді відповідно до центральної

граничної теореми, закон розподілу виділеного параметра a_i наближається до нормального розподілу. З огляду на невизначеність імовірності математичного очікування й дисперсії, знайдемо таке значення $\varepsilon_{\beta_{a_i}}$, для якого:

$$P\left(\tilde{m}_{a_i} - a_i < \varepsilon_{\beta_{a_i}}\right) \approx (1 - \alpha) = \beta_{a_i}, \quad (4)$$

де α – оцінка ризику одержання недостовірного значення параметра a_i .

Зважаючи на те, що закон розподілу виділеного параметра a_i наближається до нормального розподілу, представимо довірчу ймовірність β_{a_i} у правій частині рівняння (4), використовуючи функцію Лапласа:

$$P\left(\tilde{m}_{a_i} - a_i < \varepsilon_{\beta_{a_i}}\right) = \frac{1}{2} \cdot \left[F\left(\frac{\varepsilon_{\beta_{a_i}}}{\sigma_{\tilde{m}_{a_i}} \sqrt{2}}\right) - F\left(\frac{-\varepsilon_{\beta_{a_i}}}{\sigma_{\tilde{m}_{a_i}} \sqrt{2}}\right) \right], \quad (5)$$

де $\sigma_{\tilde{m}_{a_i}}$ – ймовірне середнє квадратичне відхилення оцінки параметра a_i .

Оскільки функція Лапласа непарна, рівність (5) приймає вид:

$$P\left(\tilde{m}_{a_i} - a_i < \varepsilon_{\beta_{a_i}}\right) = F\left(\frac{\varepsilon_{\beta_{a_i}}}{\sigma_{\tilde{m}_{a_i}} \sqrt{2}}\right),$$

або

$$F\left(\frac{\varepsilon_{\beta_{a_i}}}{\sigma_{\tilde{m}_{a_i}} \sqrt{2}}\right) = \beta_{a_i}. \quad (6)$$

З рівняння (6) знайдемо значення половини значення допуску довірчого інтервалу $\varepsilon_{\beta_{a_i}}$:

$$\varepsilon_{\beta_{a_i}} = \sigma_{\tilde{m}_{a_i}} \cdot \sqrt{2} \cdot F^{-1}(\beta_{a_i}), \quad (7)$$

де $F^{-1}(\beta_{a_i})$ – функція, зворотна функції Лапласа.

Величина ймовірного середнього квадратичного відхилення оцінки параметра a_i , $\sigma_{\tilde{m}_{a_i}}$, що входить у формулу (6), виражається через невідоме значення ймовірної дисперсії \tilde{D}_{a_i} виділеного параметра a_i й кількості незалежних нерівноточних вимірів n виділеного параметра a_i .

У якості її наближеного значення, приймаємо:

$$\sigma_{\tilde{m}_{a_i}} \approx \sqrt{\frac{\tilde{D}_{a_i}}{n}}. \quad (8)$$

Довірчий інтервал $l_{\beta_{a_i}}$ для математичного очікування значення виділеного параметра a_i при оцінці дисперсій представлений у вигляді приблизної рівності:

$$l_{\beta_{a_i}} \approx \left(\tilde{m}_{a_i} - \varepsilon_{\beta_{a_i}}; \tilde{m}_{a_i} + \varepsilon_{\beta_{a_i}} \right). \quad (9)$$

Якщо величина виділеного параметра a_i накривається довірчими інтервалами $l_{\beta_{a_i}}$ й $\tilde{l}_{\beta_{a_i}}$, тоді з довірчою ймовірністю (надійністю) β_{a_i} можна стверджувати, що параметри елементів вектора \hat{Y} , що одержані при використанні запропонованої енерго-

технічної математичної моделі ГВУ досить достовірні.

Якщо розрахункове значення ймовірного математичного очікування величини виділеного параметра a_i не накривається довірчим інтервалом, то це свідчить про те, що при створенні математичної моделі упущені деякі важливі фактори й недостатньо оцінені об'єктивні взаємозв'язки досліджуваного об'єкта і його математичної моделі. У такому випадку роблять корегування математичної моделі, що може вимагати додаткових досліджень: уточнення технічної структури пропонованої моделі й зміни у векторі керованих змінних X . Порівнювані величини значень елементів векторів \hat{Y}_1 і \hat{Y}_2 використовуються при розрахунку величини довірчого інтервалу $l_{\beta}(\hat{Y}_1; \hat{Y}_2)$.

Оцінку точності й достовірності (адекватності) запропонованої імітаційної енерготехнічної математичної моделі ГВУ [6] можна провести за логічною схемою, представленою на рис. 1.

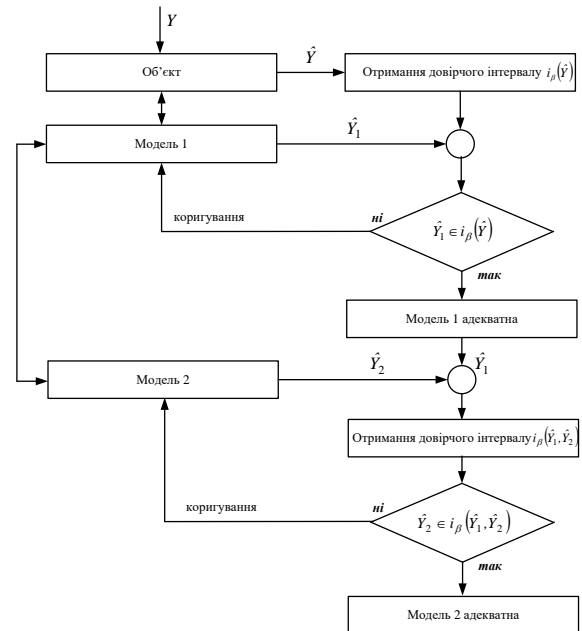


Рисунок 1 – Логічна схема перевірки достовірності запропонованої енерготехнічної математичної моделі ГВУ: X – вектор керованих змінних; Y – вектор некерованих змінних; \hat{Y} – вектор реальних вихідних параметрів досліджуваного технічного об'єкта; \hat{Y}_1 – вектор вихідних параметрів моделі 1; \hat{Y}_2 – вектор вихідних параметрів моделі 2; $l_{\beta}(\hat{Y})$ – довірчий інтервал об'єкта; $l_{\beta}(\hat{Y}_1)$ – довірчий інтервал моделі 1; $l_{\beta}(\hat{Y}_2)$ – довірчий інтервал моделі 2; $l_{\beta}(\hat{Y}_1; \hat{Y}_2)$ – довірчий інтервал при кон'юнкції моделі 1 і моделі 2

Для кількісної і якісної оцінки достовірності запропонованої енерготехнічної математичної моделі ГВУ прийняті такі технічні реалізації, у яких використовуються насоси одного типу

(ЦНС 300– 120...600) й порівнювальні гідравлічні характеристики приєднаної трубопровідної мережі.

При розрахунку технічних режимів роботи ГВУ за методикою, запропонованою НІІ ГМ ім. М. М. Федорова, використані технічні характеристики ГВУ шахт «ДТЕК Павлоградвугілля». Для

оцінки точності й надійності використовується другий варіант розрахунку робочих режимів роботи насосних агрегатів [9].

Порівняльні результати розрахунків технічних режимів роботи ГВУ наведені в табл. 1–3.

Таблиця 1 – Результати розрахунку технічних режимів роботи ГВУ за методикою НІІ ГМ ім. М. М. Федорова

Кількість насосів, n_n	Режимні витрати, Q_{mod} , м ³ /год	Режимний напір, H_{mod} , м	Швидкість плинину рідини в магістральному трубопроводі, V_{tr} , м/с
1	332	548,7	0,65
2	644	558,7	1,27
3	924	573,4	1,82
4	1168	586,5	2,30

Таблиця 2 – Результати розрахунку технічних режимів роботи ГВУ за запропонованою методикою

Кількість насосів, n_n	Режимні витрати, Q_{mod} , м ³ /год	Режимний напір, H_{mod} , м	Швидкість плинину рідини в магістральному трубопроводі, V_{tr} , м/с
1	338,3	551,7	0,678
2	643,6	569,17	1,29
3	895,5	591,8	1,79
4	1089,6	614,0	2,19

Таблиця 3 – Статистичні оцінки основних технічних параметрів ГВУ

Параметри	Кількість насосних агрегатів	Кількість магістральних трубопроводів	Математичне очікування параметра \tilde{m}_a	Дисперсія параметра \tilde{D}_a	$\sqrt{2} \cdot \Phi^{-1}(\beta_a)$	$\varepsilon_{\beta a}$	Довірчі границі	
							$\tilde{m}_a - \varepsilon_{\beta a}$	$\tilde{m}_a + \varepsilon_{\beta a}$
Розрахункові витрати ГВУ	1	2	335,15	19,84	1,975	6,22	328,93	341,37
	2		643,8	0,08		0,395	643,4	644,19
	3		909,75	406,1		28,14	881,6	937,89
	4		1128,8	3073		77,42	1051,3	1206,2
Розрахунковий напір ГВУ	1		550,2	74,5		12,04	538,16	562,24
	2		563,94	50,0		9,875	554,07	573,82
	3		582,6	169,3		18,17	564,43	600,77
	4		600,25	378,1		27,16	573,1	627,41

Дослідимо оцінку дисперсії відтворюваності. Знаходження дисперсії відтворюваності є основою для отримання якісної оцінки запропонованої енерготехнічної моделі. Необхідно знати, наскільки близькі помилки (або дисперсії) відтворюваності результатів різних математичних експериментів у різних областях факторного простору. Інакше кажучи, чи однорідні дисперсії в різних точках області факторного простору.

Перевіримо однорідність дисперсій. Виділимо дві основні точки факторного простору: параметри розрахункових витрат Q_{mod} й розрахункового напіру H_{mod} ГВУ. При наявності паралельних досвідів у різних точках факторного простору, перевірку можна здійснити, використовуючи статистичний критерій оцінки Кохрена. Якщо отримані ймовірні

дисперсії, \tilde{D}_{a_i} , виділених параметрів a_i знаходять серед них найбільшу, котру ділять на суму всіх дисперсій виділеного параметра й одержують значення критерію Кохрена G :

$$G = \frac{D_{max}}{\sum_{i=1}^n \tilde{D}_i} \quad (11)$$

Якщо значення критерію Кохрена G не перевищує табличного, тоді можливо визнати гіпотезу про однорідність дисперсій [11]. У табл. 4 представлені розрахункові значення для одержання критерію Кохрена.

Таблиця 4 – Розрахункові значення критерію Кохрена

Параметр	\tilde{D}_{max}	$\sum D_i$	G	G_{tab}
Q_{mod} , м ³ /год	3073	3499	0,878	0,975
H_{mod} , м	378,12	671,9	0,563	

ВИСНОВКИ. Моделювання енерготехнічних режимних характеристик головної водовідливної установки гірничого підприємства є багатофакторною науковою задачею, рішення якої має надзвичайне значення для розробки енергетично ефективних режимів роботи підприємства в цілому. Враховуючи частку електроспоживання ГВУ в енергобалансі підприємства на рівні 20%, адекватні та достовірні розрахунки електричних режимів відіграють вагомую роль в задачах електромагнітної сумісності системи електропостачання з енергосистемою. Розроблена математична модель розкриває взаємозв'язки технічних та електричних параметрів ГВУ та дозволяє отримати нові співвідношення параметрів для оптимізації витрат та зменшення втрат електроенергії

Значення розрахункових витрат і напорів ГВУ, як елементів вектора \hat{Y}_2 , отриманих при використанні запропонованої енерготехнічної імітаційної математичної моделі розрахунку режимів ГВУ, накриваються довірчим інтервалом $l_{\beta}(\hat{Y}_1; \hat{Y}_2)$. Тому запропонована енерготехнічна імітаційна математична модель розрахунку режимів ГВУ є адекватною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pivnyak G. G., Zhezhelenko I. V., Papaika Y. A. Transients in Electric Power Supply Systems: textbook for students of higher educational institutions / under the editorship of Academician of National Academy of Sciences of Ukraine Professor G.G. Pivnyak. Switzerland: TTP, 2016. 382 p.
 2. Pivnyak G., Zhezhelenko I, Papaika Yu. Normalization of voltage quality as the way to ensure energy saving in power supply systems. *Energy Efficiency improvement of geotechnical systems*. Taylor&Francis Group (A Balkema Book), 2013. P. 11–18.

3. Papaika Yu, Kosobudski G., Lysenko A. Power Quality and Resonances in Power Supply Systems with non-sinusoidal Loads. *Advanced engineering forum: Trans Tech Publication, Switzerland, 2017. P. 143–150.*
 4. Pivnyak G. G., Zhezhelenko I. V., Papaika Yu. A., Lysenko A. G. Interharmonics in power supply systems. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, Дніпро, 2017. Вип.6. С. 109–114.
 5. Малкин А. С., Пучков Л. А., Саламатин А. Г., Еремеев В. М. Проектирование шахт: учебник для вузов. М.:Издательство Академии горных наук. 2000. 375 с.
 6. Гришко А. П., Щелоганов В. И. Стационарные машины и установки. М.: МГГУ. 2004. 328 с.
 7. Абрамов А. П., Бизенков В. Н. Стационарные машины. Расчет водоотливных установок горнодобывающих предприятий: учебное пособие. Кемерово: ГУ КузГТУ. 2003. 143 с.
 8. Методика определения числа насосов, диаметра и количества трубопроводов, выбора коммутационной схемы шахтных водоотливных установок. Донецк: ВНИИ ГМ им. М.М.Федорова. 1999. 45 с.
 9. Гурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов. 9–е изд., стер. М: Высшая школа, 2003. 479 с.
 10. Разумный Ю. Т., Родная Е. С. Математическое моделирование режимов работы многоагрегатных шахтных водоотливных установок. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, Дніпропетровськ, 2006. №1. С.80–84.
 11. Сидняев Н. И., Вилисова Н. Т. Введение в теорию планирования эксперимента: учебное пособие. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2011. 463 с.

EVALUATION OF VIRGINITY OF THE TECHNICAL–MATHEMATICAL MODEL OF THE MAIN DRAINAGE INSTALLATION IN THE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY PROBLEMS

Yu. Papaika, O. Lysenko, M. Rogoza, K. Rodna

National Technical University Dnipro Polytechnic prosp. Dmytro Yavornytsky, 19, Dnipro, 49005, Ukraine. E-mail: papaika@ukr.net; lysenkoag@ukr.net; rogozam@nmu.org.ua; rodna.k.s@nmu.one

S. Yakimets

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ysm_seem@meta.ua

Purpose. The article deals with the current problem of studying the probability and probability of modeling the modes of the main drainage plant of a mining enterprise. It was emphasized that adequate modeling results are necessary for solving the problem of electromagnetic compatibility and reliability of the power supply system. **Methodology.** In the course of research, the methods of probability theory and the laws of the distribution of random variables in problems of electromagnetic compatibility and reliability of power supply were used. **Results.** The article deals with the actual scientific and practical problem of studying the probability and reliability of modeling the modes of the main drainage installation (MDI) of a mining enterprise. This task highlighted the need to assess the degree of compliance or reliability of the applied simulation mathematical model and the actual specified technical object. The

proposed mathematical model covers a set of possible regime parameters for technological installations of this class. The necessary statistical estimates of the energy–engineering mathematical model of the object of study – the main drainage installation of the coal mine. The degree of conformity or reliability of the applied simulation technical and mathematical model and the specified real technical object was evaluated. Estimates of the reliability of the technical–mathematical model are given, based on a statistical analysis of the values of the calculated parameters of the operating mode, determined using different calculation methods. The adequacy of the power engineering simulation mathematical model for the calculation of MDI modes has been checked. **Originality.** The obtained simulation results reveal new opportunities for the formation of energy–efficient modes of operation when introducing a set of practical solutions for the operation of an enterprise. **Practical value.** The obtained results of modeling reveal new possibilities of formation of energy–efficient operating modes at introduction of a complex of practical decisions at work of the enterprise.

Key words: main drainage installation, mathematical model, pumps, reliability assessment, electromagnetic compatibility, statistical analysis.

REFERENCES

1. Pivnyak, G. G. (2016), Transients in Electric Power Supply Systems: textbook for students of higher educational institutions. Switzerland: TTP.
2. Pivnyak, G., Zhezhelenko, I., Papaika, Yu. (2013), Normalization of voltage quality as the way to ensure energy saving in power supply systems, *Energy Efficiency improvement of geotechnical systems*: UK: Taylor&Francis Group (A Balkema Book).
3. Papaika, Yu., Kosobudzki, G., Lysenko, A. (2017), Power Quality and Resonances in Power Supply Systems with non–sinusoidal Loads, *Advanced engineering forum*. Switzerland: Trans Tech Publication.
4. Pivnyak, G. G., Zhezhelenko, I. V., Papaika, Yu. A., Lysenko, A. G. (2017), Interharmonics in power supply systems, *Naukovij visnik Natsionalnogo girnychogo universytetu*, Vol. 6. PP. 109–114.
5. Malkin, A. S., Puchkov, L. A., Salamatina, A. G., Ereemeev, V. M. (2000), *Proektirovanie shakht: uchebnik dlya vuzov* [Designing mines: a textbook for high schools], Moscow: Izdatelstvo Akademii gornikh nauk. [in Russian].
6. Grishko, A. P., Shcheloganov, V. I. (2004), *Statsionarnie mashini i ustanovki* [Stationary machines and installations], Moscow: MSMU. [in Russian].
7. Abramov, A. P., Bizenkov, V. N. (2003), *Statsionarnie mashini. Raschet vodootlivnykh ustanovok gornodobyvayushchikh predpriyatiy: uchebnoye posobie* [Stationary machines. Calculation of drainage installations of mining enterprises: a training manual], Kemerovo: SI KuzGTU. [in Russian].
8. *Metodika opredeleniya chisla nasosov, diametra I kolichestva truboprovodov, vybora komutatsionnoy skhemy chakhtnykh vodootlivnykh ustanovok* [The method of determining the number of pumps, diameter and number of pipelines, the choice of the switching scheme of mine drainage systems], (1999), Donetsk: M. M. Fedorov All Ukrainian Research Institute. [in Russian].
9. Gurman, V. E. (2003), *Teoriya veroyatnostey I matematicheskaya statistika: uchebnoye posobie dlya vuzov. 9–e izdanie, ster.* [Probability theory and mathematical statistics: a textbook for universities. 9th ed., Sr.], Moscow: Vyshaya shkola. [in Russian].
10. Razumnyy, Yu. T., Rodna, E. S. (2006), *Matematicheskoe modelirovanie regimov raboty mnogoagregatnykh shakhtnykh vodootlivnykh ustanovok*, *Naukovij visnik Natsionalnogo girnychogo universytetu*, 1, PP. 80–84. [in Russian].
11. Sidnyaev, N. I., Vilisova, N. T. (2011), *Vvedenie v teoriyu planirovaniya eksperimenta; uchebnoye posobie*. [Introduction to the theory of experiment planning: study guide], Moscow: Izdatelstvo MSTU N. E. Bauman. [in Russian].

Стаття надійшла 12.06.2019.