

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-5-10>

УДК: 004.852

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ НЕЛІНІЙНОЇ
ДИНАМІКИ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Білобородова Т.О.

TIME SERIES ANALYSIS USING NONLINEAR DYNAMICS METHODS

Biloborodova T.O.

Важливою складовою аналізу даних є вилучення значущих ознак про систему, використовуючи дані часових рядів. Більшість методів традиційного аналізу, зосереджена на даних часових рядів або частотної області. Аналіз нелінійної динаміки ґрунтується на представленні системи у просторі станів, відображаючи поведінку в n -мірному просторі, осі якого є змінними станами. Традиційні методи дослідження діагностичних ознак, в умовах нестационарності даних, не завжди забезпечують необхідну достовірність результатів діагностики фізіологічних процесів. Це зумовлює використання додаткових методів, заснованих на використанні порядкової мережі, та направлених на поділ часових рядів на короткі проміжки часу, протягом яких фізіологічна система знаходиться в стаціонарних умовах. Ентропії є мірами оцінки складності порядкової мережі та означають міру складності, хаотичності чи невизначеності системи.

Проведено дослідження з застосування порядкової мережі та мір оцінки її складності для визначення хаотичних процесів в часових рядах даних фізіологічних процесів, що можуть вказувати на патологічні відхилення досліджуваних процесів. Формалізовано процес перетворення часових рядів у порядкову мережу. Виконано реалізацію перетворення часових рядів QRS-комплексів ЕКГ у порядкову мережу та розрахунок мір складності: умовної ентропії перестановки та ентропії глобального вузла. Проведений розвідувальний аналіз даних отриманих результатів умовної ентропії перестановки та ентропії глобального вузла на основі візуалізації кореляцій в даних дозволив якісно оцінити відмінність умовної ентропії перестановки та ентропії глобального вузла для двох типів зразків QRS-комплексів ЕКГ. Статистична значущість, визначена з використанням t -критерій Стьюдента та значення r -критерію менше 0,05 свідчить, що різниця дисперсії мір для двох типів зразків QRS-комплексів ЕКГ є статистично значущою.

За результатами проведеного дослідження зроблено висновки про доцільність застосування порядкової мережі

та мір оцінки її складності для визначення хаотичних процесів в клінічних даних для диференційного аналізу патологічних та нормальних фізіологічних процесів.

Ключові слова: аналіз часових рядів, нелінійна динаміка, порядкова мережа, умовна ентропія перестановки, ентропія глобального вузла

Вступ. Інтелектуальний аналіз даних часто включає завдання вилучення достовірної інформації про складну систему на основі даних дані часових рядів. Більшість клінічних даних може бути представлена часовими рядами, що характеризують фізіологічні процеси систем організму людини. Клінічні дані можуть бути представлені лінійними або нелінійними фізіологічними процесами. Лінійна (стаціонарна), інваріантна у часі система може бути досить добре описана традиційними моделями інтелектуального аналізу даних. У лінійних системах часто можна з упевненістю припустити і легко визначити патологічні процеси, що, в даному випадку, виходять за межі встановлених значень, що відповідають нормальному фізіологічному стану. Нестационарні або нелінійні процеси представляють додаткову інформацію про стан організму, проте вимагають нестандартних підходів для отримання корисної інформації.

Більшість методів традиційного аналізу, зосереджена на даних часових рядів або частотної області. Аналіз нелінійної динаміки ґрунтується на представленні процесу у просторі станів, відображаючи поведінку в n -мірному просторі, осі якого є змінними станами. Електроенцефалограма, електрокардіограма, електроміограма тощо являють собою часовий ряд, що описує зміни в часі сумарного електричного потенціалу досліджуваної системи організму. Ці дані мають нелінійні властивості та складну по-

ведінку [1,2,3]. Оцінка їх рівня регулярності може бути корисною в багатьох додатках [4,5]. Складність подібних часових рядів зазвичай оцінюється виходячи з припущення, що дані створені стаціонарною динамічною системою, але можуть розвивати нерегулярну поведінку через свою нелінійність. Однак клінічні дані фізіологічних процесів систем організму людини часто є нестаціонарними і традиційні діагностичні ознаки не завжди забезпечують необхідну достовірність результатів діагностики фізіологічних процесів [6]. Це зумовлює використання додаткових методів, направлених на поділ часових рядів на короткі проміжки часу, протягом яких фізіологічна система знаходиться в стаціонарних умовах. Аналіз нелінійної динаміки часових рядів клінічних даних заснований на переході від їхнього скалярного представлення, що реєструється в часовій області, до векторного представлення у фазовому просторі. Використання порядкової мережі [7] для аналізу нелінійної динаміки дає змогу отримати корисну інформацію про зміни фізіологічних процесів систем організму. Методи на основі порядкової мережі та застосування інтервалу затримки не тільки дають корисну інформацію про поведінку незмінних змінних, але й дають деяке уявлення про кількість незалежних змінних станів, що фактично міститься у часових рядах даних фізіологічних систем. Для оцінки порядкової мережі використовуються постійні заходи, які залишаються постійними незалежно від методу спостереження системи.

В якості незмінних критеріїв для аналізу клінічних даних фізіологічних процесів у дослідженнях використовують фазову ентропію перестановок Ренні [8], складність Лемпеля-Зіва та показник Ляпунова [9] та ентропію Колмогорова-Сіная [10].

Ентропії є мірами складності часових рядів і означають міру складності, хаотичності чи невизначеності системи: що менше елементи системи підпорядковані якомусь порядку, то вище ентропія. Окрім ентропії Колмогорова-Сіная, в дослідженнях використовуються ентропія перестановки (англ. permutation entropy (PE)), умовна ентропія перестановки (англ. conditional permutation entropy (CPE)), ентропія глобального вузла (англ. global node entropy (GNE)) [7]. Дослідження [11] показало зміну ступеня мір складності фізіологічних процесів даних у разі виникнення патології. Таким чином, ці міри при аналізі клінічних даних характеризують хаотичність механізмів фізіологічних процесів і можуть використовуватись для підвищення достовірності оцінки характеру діяльності систем організму.

Метою роботи є дослідження застосування порядкової мережі та мір оцінки її складності для визначення хаотичних процесів в клінічних даних фізіологічних процесів, що можуть вказувати на патологічні відхилення досліджуваних процесів.

Для вирішення поставленої мети завдання дослідження визначені наступним чином: (1) формалізація процесу перетворення часових рядів у порядкову мережу, (2) реалізація процесу перетворення

часових рядів у порядкову мережу та розрахунок мір її складності, (3) розвідувальний аналіз даних отриманих результатів мір складності, (4) визначення статистичної значущості отриманих результатів диференціації патологічних та нормальних фізіологічних процесів.

Перетворення часових рядів на порядкову мережу. Відображення часового ряду в порядковій мережі базується на його порядковому розбитті з урахуванням послідовних можливих шаблонів даних [7]. Порядкове розбиття параметризується вкладеною розмірністю вибірки m та інтервалом затримки τ . Визначимо часовий ряд клінічних даних фізіологічного процесу системи організму людини як серію рівновіддалених спостережень $\mathbf{x} = \{x_1, \dots, x_m, \dots, x_M\}$, де m ціле число та представляє розмірність вкладеної вибірки часового ряду, M – загальна кількість часових кроків в часовому ряді, що розбивається. Отримання вкладених векторів $\mathbf{z} = \{z_1, z_2, \dots, z_{M-(m-1)\tau}\}$ проводиться на основі зв'язків розмірності m та затримки τ .

Кожен вектор $z_i = \{x_1, x_{i+\tau}, x_{i+2\tau}, \dots, x_{i+(m-1)\tau}\}$ відображається в послідовність символів відповідно до значення амплітуди кожного елемента в ньому. Якщо два елементи z_i мають однакове значення ($x_i = x_j$), символ присвоюється у порядку появи. Унікальний набір всіх послідовностей символів $\mathbf{s}$ представлений часовим рядом $\mathbf{s} = \{s_1, s_2, \dots, s_{M-(m-1)\tau}\}$, де кожен $s_i \in \mathbf{s}$ представляє собою вузол для побудови порядкової мережі.

Міри визначення складності для оцінки хаотичності часових рядів. Наукова гіпотеза базується на припущенні, що використання мір складності для оцінки хаотичності порядкової мережі дозволяє визначити достовірно значуще розрізнення відхилень у динаміці часових рядів. Міри складності розраховуються на основі РЕ часового ряду, яка відповідає ентропії Шеннона відповідного набору порядкових символів $\mathbf{s}$.

$$PE = - \sum_i p_i \log p_i, \quad (1)$$

де p_i представляє собою функцію маси ймовірності $P(S=s_i)$ для $s_i \in \mathbf{s}$ та оцінюється шляхом підрахунку відносної появи кожного символу у символній динаміці S . РЕ детально розглянута в [12].

CPE запропонована в дослідженні [13] та розраховується наступним чином (2).

$$CPE = \sum_i (-p_i \sum_j p_{i,j} \log p_{i,j}) \quad (2)$$

де p_i використовується з рівняння (1), а $p_{i,j}$ – елемент стохастичної матриці P і є ймовірністю переходу від s_i до s_j , що оцінюється на основі символної динаміки S .

GNE розраховується на основі елементів $p_{i,j}^T$ модифікованої стохастичної матриці P^T порядкової мережі шляхом усереднення мережі на основі стаціонарного розподілу (3).

$$GNE = \sum_i p_i (-\sum_j p_{ij}^T \log p_{ij}^T), \quad (3)$$

Перетворення часових рядів у порядкову мережу та розрахунок мір її складності на даних ЕКГ. Реалізація перетворення часових рядів ЕКГ та аналізу отриманої порядкової мережі з використанням мір складності CPE, GNE для диференціації нормальних QRS комплексів від патологічних проведена з використанням набору даних ЕКГ [14]. Досліджуваний набір даних містить часові ряди зразків QRS комплексів, виділених з ЕКГ. Кожен зразок QRS комплексу містить 140 часових кроків. Кожен зразок відповідає одному серцебиттю, тобто QRS-комплексу від пацієнта із застійною серцевою недостатністю. В цьому дослідженні використано 2 типи QRS-комплексів: тип 1 - нормальні зразки та тип 2 - зразки з наявністю ознак передчасного скорочення шлуночків. Сформований набір даних включає по 500 зразків кожного з цих двох станів. Для ЕКГ більш довгі вкладені вектори можуть визначати QRS-комплекси ЕКГ, а короткі – сегменти QRS-комплексу, пов'язані з функціональними компонентами: хвилями або сегментами комплексу. Для оцінки окремих компонентів QRS-комплексу з порядкового розбиття CPE, GNE кожного часового ряду обчислюється для короткого інтервалу затримки. Значення розмірності вкладеного вектору встановлено на $m = 5$, значення інтервалу затримки τ встановлено на рівні $\tau = 8$. Для кожного часового ряду ЕКГ набору даних розраховані міри складності CPE, GNE.

Розвідувальний аналіз даних отриманих результатів мір складності. Розвідувальний аналіз даних направлений на визначення наявності або відсутності кореляції в даних отриманих мір складності між двома типами описаних вище зразків.

На першому етапі розвідувального аналізу даних отриманих мір складності побудовано діаграму розсіювання кореляційного зв'язку між отриманими оцінками мір складності CPE, GNE і типами зразків представлена на рис. 1.

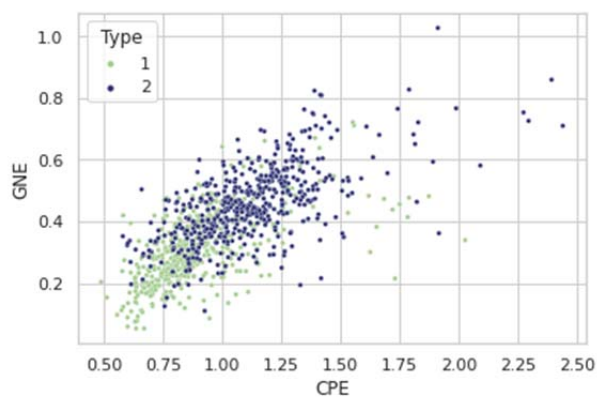


Рис. 1. Діаграма розсіювання кореляційного зв'язку між CPE, GNE та досліджуваними типами зразків

Дослідження розподілу значень мір складності CPE, GNE для двох типів зразків даних проведено з застосуванням гістограм, що представлені на рис. 2, 3.

Як можна побачити з гістограм розподілу даних зразків типу 1, більша частина значень отриманої міри складності CPE лежить у межах від 0.75 до 1, а для зразків типу 2 у межах від 1 до 1.25. Більша частина значень отриманої міри складності GNE лежить у межах від 0.2 до 0.4, а для зразків типу 2 у межах від 0.3 до 0.5. Отримані гістограми дозволяють оцінити відмінність типів зразків за результатами кількісних показників мір складності CPE, GNE.

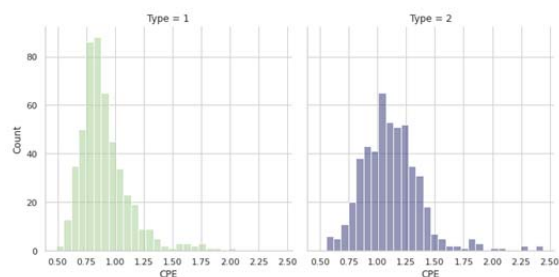


Рис. 2. Гістограми розподілу значень CPE для двох типів зразків

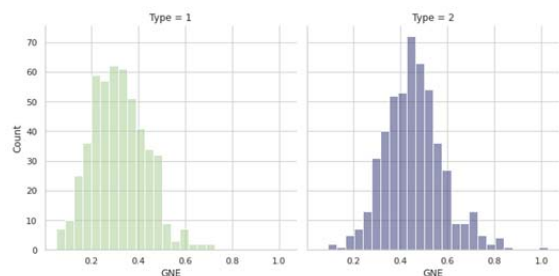


Рис. 3. Гістограми розподілу значень GNE для двох типів зразків

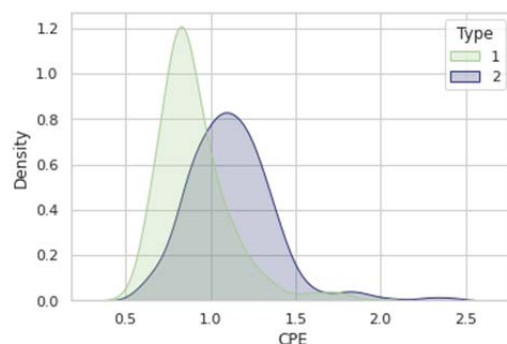


Рис. 4. Графік оцінки щільності даних CPE у відповідності до типу зразків

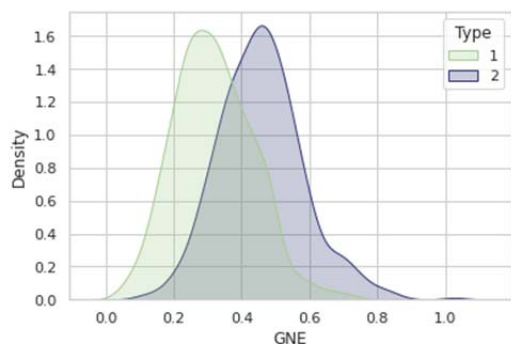


Рис. 5. Графік оцінки щільності даних GNE у відповідності до типу зразків

Графіки оцінки щільності даних, представлені на рис. 4, 5 візуалізують розподіл отриманих CPE, GNE відповідно.

Графіки оцінки щільності даних представляють дані, використовуючи безперервну криву щільності ймовірностей за якими можна зробити висновок про розподіл значень оцінок між типами зразків QRS-комплексів. Області перекриття значень оцінок представлені третім кольором. Таким чином, можна судити про наявність великої кількості значень CPE та GNE, які притаманні певному типу зразків і, таким чином, дають певний рівень достовірності при їх диференціюванні.

Визначення статистичної значущості. Для визначення статистичної значущості відмінності двох типів досліджуваних QRS-комплексів на основі мір складності CPE та GNE використано t-критерій Стюдента. Для перевірки нульової гіпотези про рівність дисперсій отриманих оцінок двох типів зразків QRS-комплексів значення p -критерію нижче 0,05 вважалося статистично значущим, з довірчим інтервалом 95%. Для отриманих значень CPE, GNE отримано значення p -критерію менше 0,05. Таким чином, наявна різниця дисперсій вважається статистично значущою, нульова гіпотеза про рівність дисперсій відкидається.

Таким чином, підтверджено статистичну значущість відмінності зразків типу 1 з нормальним QRS-комплексом від зразків типу 2 – з наявністю ознак передчасного скорочення шлуночків на підставі мір складності отриманих в результаті оцінки складності порядкових мереж досліджуваних зразків.

Висновки. Аналіз динаміки клінічних даних фізіологічних процесів людини дозволяє виділити додаткові знання з досліджуваних даних. Нестационарність деяких фізіологічних процесів вимагає використання додаткових методів, таких як порядкова мережа, для проведення аналізу таких даних. Для оцінки порядкової мережі на основі даних фізіологічних процесів використовуються міри складності, такі як умовна ентропія перестановки та ентропія глобального вузла. Міри складності, у випадку ана-

лізу клінічних даних функціональних систем організму, вказують на хаотичність цих даних та можуть свідчити про патологічні зміни досліджуваних систем організму.

В результаті проведеного дослідження з застосування порядкової мережі та мір оцінки її складності для визначення хаотичних процесів в клінічних даних фізіологічних процесів формалізовано процес перетворення часових рядів у порядкову мережу. Виконано реалізацію перетворення часових рядів QRS-комплексів ЕКГ у порядкову мережу та розрахунок мір складності: умовної ентропії перестановки та ентропії глобального вузла. Проведений розвідувальний аналіз даних отриманих результатів умовної ентропії перестановки та ентропії глобального вузла на основі візуалізації кореляцій в даних дозволив якісно оцінити відмінність умовної ентропії перестановки та ентропії глобального вузла для двох типів зразків QRS-комплексів ЕКГ. Статистична значущість, визначена з використанням t -критерію Стюдента та значення p -критерію менше 0,05 свідчить, що різниця дисперсій мір для двох типів зразків QRS-комплексів ЕКГ є статистично значущою.

Таким чином, зроблено висновок про доцільність застосування порядкової мережі та мір оцінки її складності для визначення хаотичних процесів в клінічних даних для диференційного аналізу патологічних та нормальних фізіологічних процесів.

Література

1. Liu, T., Yao, W., Wu, M., Shi, Z., Wang, J., Ning, X. Multiscale permutation entropy analysis of electrocardiogram. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. – 2017. – Т. 471. – С. 492-498.
2. Yu, H., Liu, J., Cai, L., Wang, J., Cao, Y., Hao, C. Functional brain networks in healthy subjects under acupuncture stimulation: an EEG study based on nonlinear synchronization likelihood analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. – 2017. – Т. 468. – С. 566-577.
3. Mesin, L., Dardanello, D., Rainoldi, A., Boccia, G. Motor unit firing rates and synchronisation affect the fractal dimension of simulated surface electromyogram during isometric/isotonic contraction of vastus lateralis muscle. *Medical engineering & physics*. – 2016. – Т. 38. – №. 12. – С. 1530-1533.
4. Seely A. J. E., Christou N. V. Multiple organ dysfunction syndrome: exploring the paradigm of complex nonlinear systems. *Critical care medicine*. – 2000. – Т. 28. – №. 7. – С. 2193-2200.
5. Gao, Z. K., Fang, P. C., Ding, M. S., Jin, N. D. Multivariate weighted complex network analysis for characterizing nonlinear dynamic behavior in two-phase flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2015. – Т. 60. – С. 157-164.
6. Файнзильберг Л.С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л.С. Файнзильберг. – К. : Освіта України, 2013. – 191 с.

7. McCullough, M., Small, M., Iu, H. H. C., Stemler, T. Multiscale ordinal network analysis of human cardiac dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* – 2017. – T. 375. – №. 2096. – C. 20160292.
8. Kang H., Zhang X. The influence of parameter selection for Rényi phase permutation entropy on abnormal change detection. 2019 IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing (ICSIDP). – IEEE, 2019. – C. 1-6.
9. Sun, Q., Wang, Q., Ji, B., Wu, W., Huang, W., Wang, C. The Cardiodynamicsgram Based Early Detection of Myocardial Ischemia Using the Lempel-Ziv Complexity. *IEEE Access.* – 2020. – T. 8. – C. 207894-207904.
10. Scarciglia, A., Catrambone, V., Bonanno, C., Valenza, G. Quantifying partition-based Kolmogorov-Sinai Entropy on Heart Rate Variability: a young vs. elderly study. 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). – IEEE, 2021. – C. 5469-5472.
11. Майоров О. Ю., Фенченко В. Н. Повышение надежности исследований детерминированного хаоса в биоэлектрической активности (ЭЭГ, ЭКГ и вариабельности сердечного ритма) методами нелинейного анализа. *Клиническая информатика и телемедицина.* – 2009. – №. 5, Вып. 6. – С. 10-17.
12. Bandt C., Pompe B. Permutation entropy: a natural complexity measure for time series. *Physical review letters.* – 2002. – T. 88. – №. 17. – C. 174102.
13. Unakafov A. M., Keller K. Conditional entropy of ordinal patterns. *Physica D: Nonlinear Phenomena.* – 2014. – T. 269. – C. 94-102.
14. Chen Y., Hao, Y., Rakthanmanon T., Zakaria J., Hu B., Keogh E. A general framework for never-ending learning from time series streams. *Data mining and knowledge discovery.* – 2015. – T. 29. – №. 6. – C. 1622-1664.
6. Fainzilberg L.S. *Electrocardiogram phase portraits in computer diagnostics.* Kiev: Osvita Ukrainy, 2013. 191 p.
7. McCullough, M., Small, M., Iu, H. H. C., Stemler, T. Multiscale ordinal network analysis of human cardiac dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* – 2017. – T. 375. – №. 2096. – P. 20160292.
8. Kang H., Zhang X. The influence of parameter selection for Rényi phase permutation entropy on abnormal change detection. 2019 IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing (ICSIDP). – IEEE, 2019. – P. 1-6.
9. Sun, Q., Wang, Q., Ji, B., Wu, W., Huang, W., Wang, C. The Cardiodynamicsgram Based Early Detection of Myocardial Ischemia Using the Lempel-Ziv Complexity. *IEEE Access.* – 2020. – T. 8. – P. 207894-207904.
10. Scarciglia, A., Catrambone, V., Bonanno, C., Valenza, G. Quantifying partition-based Kolmogorov-Sinai Entropy on Heart Rate Variability: a young vs. elderly study. 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). – IEEE, 2021. – P. 5469-5472.
11. Mayorov, O., Fenchenko V. Increase reliability of bioelectric activity (EEG, ECG and HRV) deterministic chaos researches by the nonlinear analysis methods. *J. Klin.inform.telemed.* – 2009. – №. 5, Vol. 6. – P. 10-17.
12. Bandt C., Pompe B. Permutation entropy: a natural complexity measure for time series. *Physical review letters.* – 2002. – T. 88. – №. 17. – P. 174102.
13. Unakafov A. M., Keller K. Conditional entropy of ordinal patterns. *Physica D: Nonlinear Phenomena.* – 2014. – T. 269. – P. 94-102.
14. Chen Y., Hao, Y., Rakthanmanon T., Zakaria J., Hu B., Keogh E. A general framework for never-ending learning from time series streams. *Data mining and knowledge discovery.* – 2015. – T. 29. – №. 6. – P. 1622-1664.

References

1. Liu, T., Yao, W., Wu, M., Shi, Z., Wang, J., Ning, X. Multiscale permutation entropy analysis of electrocardiogram. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications.* – 2017. – T. 471. – P. 492-498.
2. Yu, H., Liu, J., Cai, L., Wang, J., Cao, Y., Hao, C. Functional brain networks in healthy subjects under acupuncture stimulation: an EEG study based on nonlinear synchronization likelihood analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications.* – 2017. – T. 468. – P. 566-577.
3. Mesin, L., Dardanella, D., Rainoldi, A., Boccia, G. Motor unit firing rates and synchronisation affect the fractal dimension of simulated surface electromyogram during isometric/isotonic contraction of vastus lateralis muscle. *Medical engineering & physics.* – 2016. – T. 38. – №. 12. – P. 1530-1533.
4. Seely A. J. E., Christou N. V. Multiple organ dysfunction syndrome: exploring the paradigm of complex nonlinear systems. *Critical care medicine.* – 2000. – T. 28. – №. 7. – P. 2193-2200.
5. Gao, Z. K., Fang, P. C., Ding, M. S., Jin, N. D. Multivariate weighted complex network analysis for characterizing nonlinear dynamic behavior in two-phase flow. *Experimental Thermal and Fluid Science.* – 2015. – T. 60. – P. 157-164.

Biloborodova T.O. Time series analysis using nonlinear dynamics methods

An important component of data mining is the extraction of significant system features using time series data. Most traditional analysis methods focus on time series or frequency domain data. The analysis of nonlinear dynamics is based on the representation of the system in the state space, reflecting the behavior in the n-dimensional space, the axes of which are variable states. Traditional methods of studying diagnostic signs in non-stationary data do not always provide the necessary confidence of diagnosing physiological processes. This leads to the use of additional methods based on the use of an ordinal network and aimed at partition time series into short time intervals during which the physiological system is in stationary conditions. Entropies are complexity measures of ordinal network and indicate the complexity, randomness or uncertainty of the system.

The study was carried out on the implementation of the ordinal network and complexity measures to determine chaotic processes in the time series of these physiological processes, which may indicate pathology processes. The process of transforming time series into an ordinal network is formalized. The implementation of the transformation of the time series of ECG QRS complexes into an ordinal network and the calculation of complexity measures: the conditional permutation entropy and the global node entropy have been

performed. The exploratory data analysis of the obtained results of the conditional permutation entropy and the global node entropy based on the visualization of data correlations made it possible to qualitatively evaluate the difference in the conditional permutation entropy and the global node entropy for two types of ECG QRS samples. Statistical significance, determined using the Student's *t*-test and a *p*-test value of less than 0.05, indicates that the difference in measure variance for the two types of ECG QRS samples is statistically significant.

Based on the results of the study, a conclusion was made about the feasibility of using an ordinal network and measures for assessing its complexity to determine chaotic processes in clinical data for differential analysis of pathological and normal physiological processes.

Keywords: time series analysis, nonlinear dynamics, ordinal network, conditional permutation entropy, global node entropy

Білобородова Тетяна Олександрівна – к.т.н., доцент, докторант Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, e-mail: beloborodova.t@gmail.com

Стаття подана 15.01.2022.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-11-17>

УДК: 004.89

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ГЕОПРОСТОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

Критська Я.О., Білобородова Т.О.

GEOSPATIAL IMAGES PROCESSING AND ANALYSIS FOR REMOTE SURFACE WATER MONITORING

Krytska Y.O., Biloborodova T.O.

Поверхневі води є важливими природним ресурсом та відіграють важливу роль в багатьох аспектах людського життя, таких як питна вода, сільське господарство, виробництво електроенергії, транспорт та промисловість. Зміни поверхневих вод впливають на інші природні ресурси та навколишнє середовище. Це обумовлює важливість якісного визначення обсягу поверхневих вод і відстеження їх динаміки. Останнім часом дедалі більшої популярності набувають методи аналізу поверхневих вод на основі супутникових зображень. В роботі досліджені можливості і перспективи використання методів обробки та аналізу геопросторових зображень для віддаленого моніторингу поверхневих вод. Визначено та формалізовано етапи моніторингу поверхневих вод на основі геопросторових зображень. Визначено класифікацію методів виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень, що включає методи на основі спектральних діапазонів, методи контрольованої класифікації на основі методів машинного навчання та методи неконтрольованої класифікації на основі індексів води. Розглянуто особливості просторово-часового аналізу поверхневих вод та критеріїв оцінки його точності. Ключовим критерієм оцінки точності є загальна точність класифікації зображень, однак, доцільно використовувати декілька специфічних критеріїв оцінки, таких як коефіцієнт узгодженості MICE, точність виробника, точність користувача, для отримання надійнішої оцінки. Проведено дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу на прикладі озера Піцане Луганської області в період водопілля 2018-2019 років. Дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу з застосуванням нормованого диференційованого індексу вологості території озера Піцане дозволило виявити певну невизначеність при підборі порогових значень для ефективного диференціювання. Також, виявлено суттєву залежність методу від факторів атмосферних умов, таких як хмарність, туман, задимленість або температурна інверсія на момент зйомки геопросторового зображення, що обумовлює необхідність атмосферної корекції супутникових даних до рівня обробки L2A.

Ключові слова: моніторинг водних поверхонь, індекс вологості, нормалізований диференційований індекс вологості, класифікація геопросторових зображень

Вступ. Поверхневі води відносяться до вод на поверхні Землі, таких як річки, озера, водно-болотні угіддя та океан. Поверхневі води є важливими ресурсом прісної води, що має важливе значення в багатьох аспектах людського життя, таких як питна вода, сільське господарство, виробництво електроенергії, транспорт та промисловість. Поверхневі води за своєю природою є динамічним об'єктом, зміни якого впливають на інші природні ресурси та навколишнє середовище. Це обумовлює важливість ефективного визначення обсягу поверхневих вод і відстеження їх динаміки.

Проведення моніторингу поверхневих вод з використанням локальних ресурсів може бути дорогим та трудомістким. Останнім часом дедалі більшої популярності набувають альтернативні методи аналізу поверхневих вод з використанням супутникових зображень. Дистанційне зондування є ефективним підходом для синоптичної оцінки вологості ґрунту [1], моніторингу води та рівня води [2], моделювання водоспоживання [3], управління підземними водами, картування паводків [4] та моніторингу якості води [5].

Метою роботи є дослідження можливостей і перспектив використання методів обробки та аналізу геопросторових зображень для віддаленого моніторингу поверхневих вод.

Завдання дослідження визначено наступним чином:

- визначення та формалізація етапів моніторингу поверхневих вод на основі геопросторових зображень;
- класифікація методів виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень;
- особливості просторово-часового аналізу поверхневих вод;
- критерії оцінки точності аналізу поверхневих вод на основі зображень;

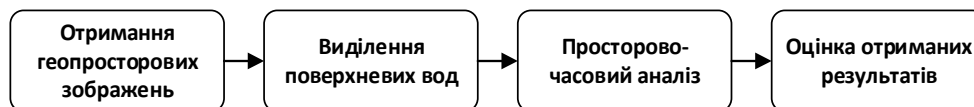


Рис. 1. Структура моніторингу поверхневих вод на основі зображень

- дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу.

Моніторинг поверхневих вод на основі геопросторових зображень. Моніторинг поверхневих вод на основі геопросторових зображень включає наступні етапи: отримання даних, виділення даних, що відповідають водній поверхні, просторово-часовий аналіз виділених даних, оцінка точності виділення поверхневих вод на геопросторових зображеннях.

Геопросторові зображення отримуються за допомогою супутникових оптико-електронних систем. Отримання даних дистанційного зондування Землі проводиться у видимому та інфрачервоному діапазоні. Отримані знімки, також, розрізняють за просторовою розподільною здатністю, що характеризує розмір найменших об'єктів, помітних на зображенні. Дані дистанційного зондування проходять попередню обробку, яка включає комплекс операцій зі знімками, спрямований на усунення різноманітних спотворень зображення. Етап отримання даних може включати геометричну корекцію, що включає інтеграцію отриманих даних з картами. При геометричній корекції проводиться зіставлення отриманого зображення масштабу і проекції існуючої карти [6].

Етапи виділення даних поверхневих вод, просторово-часового аналізу та об'єднання даних розглянуто далі.

Виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень. Більшість методів виділення поверхневих вод з зображень базуються на відбивній здатності води, що є набагато меншою в порівнянні з іншими типами земного покриття в інфрачервоних каналах.

Методи виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень поділяють [7] на три категорії: (1) методи на основі спектральних діапазонів, (2) методи контрольованої класифікації на основі методів машинного навчання, (3) методи неконтрольованої класифікації на основі індексів води. При проведенні аналізу часто використовується комбінація декількох методів, тому використання методів не є взаємовиключними.

Методи на основі спектральних діапазонів визначають водні об'єкти шляхом застосування порогових значень до однієї або кількох спектральних смуг, легко реалізувати, але часто неправильно класифікують гірські тіні, міські райони або інший фон шум [8].

Класифікація на основі методів машинного навчання включає методи контрольованого та неконтрольованого навчання для виділення водних об'єктів із мультиспектральних зображень. Для контрольованої класифікації популярними методами є алгоритми

максимальної правдоподібності, дерева рішень, штучні нейронні мережі та алгоритм опорних векторів. Для неконтрольованої класифікації найпоширеніші методи включають використання k-середніх та ітераційний самоорганізуючий аналіз даних [9,10]. В дослідженнях [11,12] методи машинного навчання, зокрема, алгоритм дерева рішень, застосовуються для виділення поверхневих вод з використанням мультиспектральних діапазонів. За деяких обставин ці підходи можуть досягти більш високої точності, ніж методи спектральних діапазонів. Однак, отримання точних моделей вимагає великої кількості анотованих даних, в деяких випадках вузькоспеціалізованих експертних знань, що запобігає застосуванню цих методів на великих площах [13]. Також, навчені класифікаційні моделі мають складності з відтворюваністю на репрезентативних даних, що, є перешкодою до універсальності їх застосування.

Методи на основі індексів води: Ці методи поєднують два або більше спектральних діапазонів, використовуючи різні алгебраїчні операції, щоб збільшити розбіжність між поверхнями води та ґрунту.

Використання індексів води є простим та ефективним способом виділення поверхні води, що розраховуються з використанням даних двох або більше кольорних діапазонів, для диференціювання водних та неводних територій.

Популярними індексами, що використовуються для виділення поверхневих вод з геопросторових зображень є нормалізований диференційований індекс рослинності (англ. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) [14], нормалізований диференційований індекс вологості (Normalized Difference Wetness Index (NDWI)) [15,16], mNDWI [17], індекс автоматичного виділення води (Automated Water Extraction Index (AWEI)) [18].

NDVI є часто використовуваним індексом та ідентифікує присутність хлорофілу у рослинності. NDVI розраховується наступним чином (1).

$$NDVI = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3), \quad (1)$$

де ρ представляє коефіцієнт відбиття для наступних діапазонів 1 - синій, 2 - зелений, 3 - червоний, 4 - ближнє інфрачервоне випромінювання, 5 - короткохвильове інфрачервоне випромінювання, 6 - короткохвильове інфрачервоне випромінювання синього (SWIR1) і 7 - короткохвильове інфрачервоне випромінювання зеленого (SWIR2), що використовуються в рівняннях, представлених далі.

Червоний діапазон значною мірою поглинається хлорофілом, низький коефіцієнт відбиття. NDVI має високе позитивне значення для здорової рос-

линності і низьке позитивне значення для рослинності, схильної до водного стресу, або загиблості рослинності. NDVI використовувався в дослідженнях для виявлення води та паводків [19]. Він передбачає наявність води шляхом виявлення надземної біомаси, але не дає прямої інформації про наявність відкритої води. Більш корисними для цієї мети є індекси, що виділяють саме водну поверхню, такі як NDWI та його модифікація mNDWI. NDWI визначається як (2).

$$NDWI = (\rho_2 - \rho_4) / (\rho_2 + \rho_4) \quad (2)$$

mNDWI є більш стабільним і надійним, ніж NDWI, що досягається за рахунок використання діапазону короткохвильового інфрачервоного випромінювання замість діапазону ближнього інфрачервоного діапазону, як це представлено у (3).

$$mNDWI = (\rho_2 - \rho_5) / (\rho_2 + \rho_5) \quad (3)$$

mNDWI широко використовуються в сучасних дослідженнях [20].

Індекс автоматичного виділення води (AWEI) був введений для підвищення точності класифікації в областях, включаючи тіні та темні поверхні, які інші методи класифікації часто не могли правильно класифікувати [18]. AWEI направлений на максимально точне виділення водних та неводних пікселів за рахунок диференціації, додавання діапазонів та застосування різних коефіцієнтів. Запропоновано два варіанти індексу. AWEI_{nsh}, як показано в рівнянні (4), підходить для ситуацій, коли водні та неводні поверхні відносно однорідні, в той час як AWEI_{sh}, як показано в рівнянні (5), призначений для ефективного усунення тіней або інших темних поверхонь.

$$AWEI_{nsh}: 4 \times (\rho_2 - \rho_6) - (0.25 \times \rho_4 + 2.75 \times \rho_7) \quad (4)$$

$$AWEI_{sh}: \rho_1 + 2.5 \times \rho_2 - 1.5 \times (\rho_4 + \rho_6) - 0.25 \times \rho_7 \quad (5)$$

Однією з основних цілей використання індексів води при вилученні водних поверхонь із супутникових зображень є спрощення класифікації зображень шляхом визначення значення індексу води як порогового значення для диференціювання водних та неводних пікселів. Проте порогові методи індексу води можуть працювати неефективно [21]. Незалежно від методу вибору порогового значення, методи на основі індексів води відносяться до класифікації неконтрольованих зображень. З одного боку, методи неконтрольованої класифікації на основі індексів води показують менш точні результати виділення водних поверхонь на зображеннях, але з іншого боку, обчислювальна ефективність неконтрольованих методів зазвичай вища, ніж при застосуванні контрольованої класифікації. Досягнення компромісу між точністю класифікації водних поверхонь та об-

числювальною ефективністю є метою сучасних досліджень.

Просторово-часовий аналіз поверхневих вод. Водні об'єкти за своєю природою динамічні, з часом площа поверхні може зменшуватися або збільшуватися під дією низки природних та антропогенних факторів. Зміни у водних об'єктах впливають на інші природні ресурси та людські активи, і, також, впливають на навколишнє середовище. Таким чином, просторово-часовий моніторинг динаміки водної поверхні необхідний для розуміння глобальної чи регіональної доступності водних ресурсів.

Просторово-часовий моніторинг динаміки водної поверхні першим варіантом зазвичай реалізується шляхом виявлення змін. Розрізняють два підходи виявлення змін: (1) класифікація та подальше порівняння змін, (2) порівняння змін та наступна класифікація.

Перший підхід включає класифікацію кількох зображень, отриманих у різний час та подальше порівняння результатів класифікації для визначення областей збільшення або зменшення водної поверхні. Цей підхід широко використовують у дослідженнях просторово-часового моніторингу водних поверхонь [22,23]. Однак цей підхід зазвичай вимагає додаткових заходів щодо анотації даних при проведенні класифікації і, також, має властивість накопичувати помилки при порівнянні результатів класифікації. Це зумовлює зростання популярності другого підходу. При реалізації другого підходу просторово-часовий аналіз водних поверхонь починається з безпосереднього порівняння зображень, отриманих у різний час, з наступною класифікацією результатів порівняння з різних змінених станів. Цей підхід з використанням аналізу основних компонентів представлений у дослідженні [24], на основі аналізу вектора змін в дослідженні [25]. Автори порівнюють вихідні зображення, потім визначають змінні області шляхом класифікації результатів порівняння. Ці методи скорочують обсяг роботи з класифікації та, таким чином, підвищують ефективність виявлення змін.

Оцінка точності виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень. Точність виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень є ключовим критерієм достовірності використовованого підходу та найважливішим заключним етапом аналізу. Для оцінки точності може використовуватись загальна точність класифікації зображень [26], однак, доцільно використовувати декілька критеріїв для запобігання упередженості одного критерію. Для оцінки точності та надійності класифікації поверхневих вод на геопросторових зображеннях зазвичай використовуються коефіцієнт MICE, загальна точність (англ. overall accuracy (OA)), точність виробника (англ. producer's accuracy (PA)), точність користувача (англ. user's accuracy (UA)) та F-міра. Міри розраховуються на основі матриці помилок представленої у [26]

Коефіцієнт MICE використовується для виміру узгодженості або точності і є загальним індексом для виміру точності класифікації. Значення MICE знаходиться в діапазоні від 0 до 1, де більш високі значення свідчать про більшу надійність результату класифікації. Коефіцієнт розраховується наступним чином, як це представлено в (6).

$$MICE = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{n_{jj}}{n} - \sum_{j=1}^n \left(\frac{n_{j.}}{n}\right)^2}{1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{n_{j.}}{n}\right)^2}, \quad (6)$$

де n_{jj} – частка правильно класифікованих вибірок у класі j по діагоналі матриці помилок, n_j – спрощене представлення $n+j$, яке зазвичай використовується для представлення контрольної суми, а n – загальна кількість типів поверхні.

Загальна точність ОА, згідно з матриці помилок представленої у [26] розраховується наступним чином (7).

$$OA = \sum_{j=1}^n \frac{n_{jj}}{n}. \quad (7)$$

Дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу.

Область дослідження. В якості області дослідження для спостереження за рівнем посухи та наявності вологості обрано долину річки Сіверський Донець, поруч зі смугою заплавних озер: Піщане, Кругле, Біле в Луганській області, що представлена на світовій мапі та мапі регіону на рис. 2.

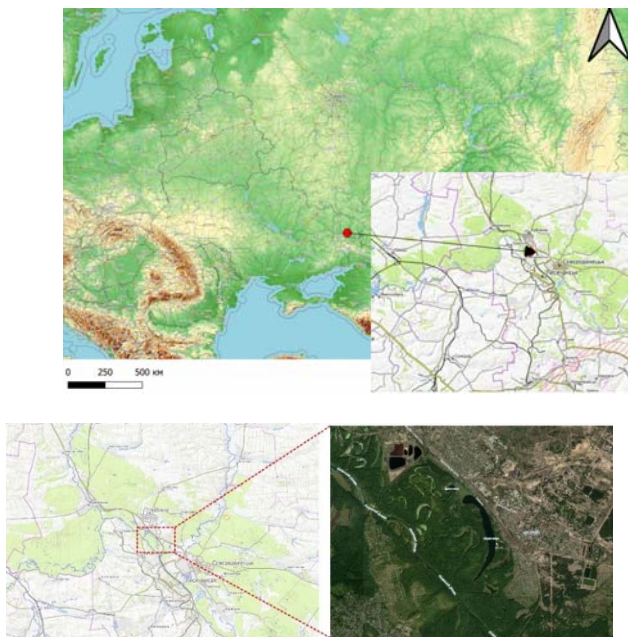


Рис. 2. Географічне розташування озера Піщане на мапі

Об'єктом дослідження обрано озеро Піщане. Озеро розташоване в атлантико-континентальній кліматичній зоні, є природною водоймою, що ле-

жить у річковій долині ріки Сіверський Донець та є єдиною культурно-рекреаційною зоною м. Рубіжне Луганської області.

Джерела даних. Реалізація запропонованого підходу проведена з використанням супутникових даних [27,28,29] та програмного забезпечення [30,31]. В якості досліджуваного періоду обрано 2018-2019 роки під час весняного водопілля.

Виділення даних водної поверхні озера Піщане з геопросторових зображень проведено з використанням індексу NDWI, результат застосування індексу до зображень досліджуваної місцини для 2018 та 2019 років представлено на рис. 3а та 3б відповідно.

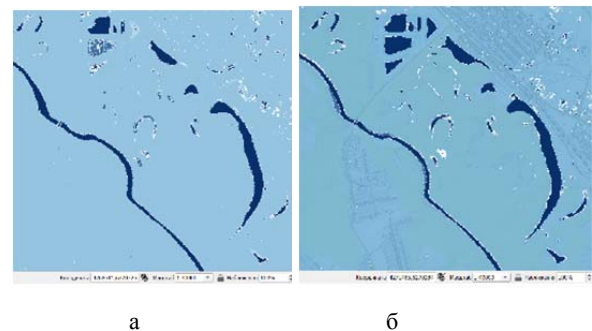


Рис. 3. Картографічне представлення досліджуваної області з використанням індексу NDWI:

а – мапа зволоженості періоду водопілля 2018 р.;
б – мапа зволоженості періоду водопілля 2019 р.

Застосування індексу вологості NDWI дозволило створити мапу зволоженості з відтінками від блакитного до синього, як це представлено на рис. 3а, 3б, де синім виділені поверхневі води озера Піщане та прилеглих водоймищ у 2018 та 2019 роках відповідно. З отриманих карт зволоженості, очевидно, що у 2018 році спостерігалось зменшення водних ресурсів, тоді як у 2019 році спостерігалось максимальне наповнення водоймищ.

На основі добору порогового значення проведено групування пікселів в задану кількість класів з підбором граничних значень верхньої межі діапазону, діапазону кольору для кожного класу за дискретною шкалою. Це надало змогу виконати класифікацію за трьома атрибутами: суша, зволожена частина та поверхнева вода. Проведено корекцію на відображення схожих до водного діапазону значень хмар в класі з -0,2187 на -0,1249.

Для перевірки точності розрахунків індексу вологості NDWI обчислено та побудовано гістограми розподілу зволоженості ґрунту території заплавних озер долини р. Сіверський Донець: Піщане, Кругле, Біле тощо у квітні 2018, травні 2019 р. За оцінкою обчислень та побудови гістограм розподілу зволоженості ґрунту території заплавних озер у досліджувані періоди весняного водопілля підтверджено точність виконаних розрахунків індексу вологості NDWI. А саме, визначено значення пікселів у гістограмах між [-1; +1], де -1 відповідає мінімально зво-

ложеної поверхні, тобто, ґрунту, а +1 відповідає максимально зволоженої поверхні, тобто, воді, та отримано менші значення зволоженості на території заплави у 2018 році в порівнянні з 2019 роком, гістограми яких представлено на рис. 4а та 4б відповідно.

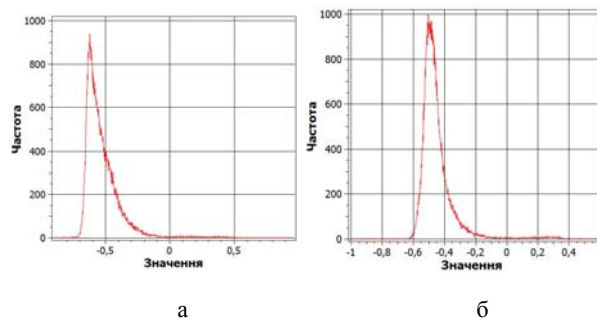


Рис. 4. Гістограми розподілу зволоженості ґрунту:
а – період водопілля 2018 р.; б – період водопілля 2019 р.

Діаграми розсіяння дозволили отримати кількісну оцінку розподілу значень індексу вологості NDWI для зображень, представлених на рис. 3а, 3б. З діаграм розсіяння видно, що для рис. 3а, що характеризує зволоженість періоду водопілля у 2018 році, більша кількість значень індексу для пікселів зображення приходить на значення індексу, що дорівнює -0,6, а для рис. 3б, що характеризує зволоженість періоду водопілля у 2019 році, більша кількість значень індексу для пікселів зображення приходить на значення індексу, що дорівнює -0,5. Дані гістограм кількісно підтверджують якісну візуальну оцінку мапи зволоженості. Ще одна кількісна оцінка отримана з застосуванням індексу вологості NDWI на основі зображення території озера Піщане. Зображення використані для визначення площі водної поверхні, яка у 2019 році становила 630325,197 м², а у 2018 року 507736,076 м². Різниця площі заводнення склала 122 589,121 м² або 19,45 %.

Висновки. Характеристика динаміки поверхневих вод є важливим етапом досліджень, направлених на вивчення екологічних та гідрологічних процесів. Технологія дистанційного зондування забезпечує ефективні способи спостереження динаміки поверхневих вод на основі геопосторових зображень. Розвиток інформаційних технологій надав поштовх методам віддаленого моніторингу поверхневих вод. Більшість досліджень за цим напрямком спрямовані на розробку методів автоматичного виділення поверхневих вод та підвищення точності виділення.

В роботі досліджені можливості і перспективи використання методів обробки та аналізу геопосторових зображень для віддаленого моніторингу поверхневих вод. Визначено та формалізовано етапи моніторингу поверхневих вод на основі геопосторових зображень. Визначено класифікацію методів виділення даних водної поверхні з геопосторових зображень, що включає методи на основі спектральних діапазонів, методи контрольованої класифікації

на основі методів машинного навчання та методи неконтрольованої класифікації на основі індексів води. Розглянуто особливості просторово-часового аналізу поверхневих вод та критеріїв оцінки його точності. Проведено дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу на прикладі озера Піщане Луганської області в період водопілля 2018-2019 років.

Дослідження можливостей аналізу поверхневих вод на основі водного індексу з застосуванням нормованого диференційованого індексу вологості території озера Піщане дозволило виявити певну невизначеність при підборі порогових значень для ефективного диференціювання. Також, виявлено суттєву залежність методу від факторів атмосферних умов на момент зйомки геопосторового зображення (хмар, туману, задимленості, температурної інверсії), що обумовлює необхідність атмосферної корекції супутникових даних до рівня обробки L2A (Surface reflection, SR).

Література

1. Su Z., Yacob A., Wen J., Roerink G., He Y., Gao B., Voogard H., van Diepen C. Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.* – 2003. – Т. 28. – №. 1-3. – С. 89-101.
2. Crétau J.F., Jelinski W., Calmant S., Kouraev A., Vuglinski V., Bergé-Nguyen M., Gennero M.-C., Nino F., Del Rio Abarca R., Cazenave A. SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data. *Advances in space research.* – 2011. – Т. 47. – №. 9. – С. 1497-1507.
3. Ines A.V., Honda K., Gupta A.D., Droogers P., Clemente R.S. Combining remote sensing-simulation modeling and genetic algorithm optimization to explore water management options in irrigated agriculture. *Agricultural water management.* – 2006. – Т. 83. – №. 3. – С. 221-232.
4. Feng Q., Liu J., Gong J. Urban flood mapping based on unmanned aerial vehicle remote sensing and random forest classifier – A case of Yuyao, China. *Water.* – 2015. – Т. 7. – №. 4. – С. 1437-1455.
5. Andres L., Boateng K., Borja-Vega C., Thomas E. A review of in-situ and remote sensing technologies to monitor water and sanitation interventions. *Water.* – 2018. – Т. 10. – №. 6. – С. 756.
6. Jain S. K., Singh V. P. *Water resources systems planning and management.* – Elsevier, 2003.
7. Jiang H., Feng M., Zhu Y., Lu N., Huang J., Xiao T. An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Remote Sensing.* – 2014. – Т. 6. – №. 6. – С. 5067-5089.
8. Rundquist D.C., Lawson M.P., Queen L.P., Cerveny R.S. The relationship between summer-season rainfall events and lake-surface area. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association.* – 1987. – Т. 23. – №. 3. – С. 493-508.
9. Lu D., Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International journal of Remote sensing.* – 2007. – Т. 28. – №. 5. – С. 823-870.
10. Otukey J. R., Blaschke T. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and

- maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2010. – Т. 12. – С. S27-S31.
11. Acharya T. D., Lee D. H., Yang I. T., Lee, J. K. Identification of water bodies in a Landsat 8 OLI image using a J48 decision tree // *Sensors*. – 2016. – Т. 16. – №. 7. – С. 1075.
 12. Olthof I. Mapping seasonal inundation frequency (1985–2016) along the St-John River, New Brunswick, Canada using the Landsat archive. *Remote Sensing*. – 2017. – Т. 9. – №. 2. – С. 143.
 13. Frazier P.S., Page K.J. Water body detection and delineation with Landsat TM data. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. – 2000. – Т. 66. – №. 12. – С. 1461-1468.
 14. Bastiaanssen W. G. M. et al. Remote sensing in water resources management: The state of the art. – *International Water Management Institute*, 1998.
 15. Nageswara Rao P. P., Mohankumar A. Cropland inventory in the command area of Krishnarajasagar project using satellite data. *Remote sensing*. – 1994. – Т. 15. – №. 6. – С. 1295-1305.
 16. McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*. – 1996. – Т. 17. – №. 7. – С. 1425-1432.
 17. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*. – 2006. – Т. 27. – №. 14. – С. 3025-3033.
 18. Feyisa G. L., Meilby H., Fensholt, R., Proud S. R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. – 2014. – Т. 140. – С. 23-35.
 19. Domenikiotis C., Dalezios N. R., Loukas A., Karteris M. Agreement assessment of NOAA/AVHRR NDVI with Landsat TM NDVI for mapping burned forested areas. *International Journal of Remote Sensing*. – 2002. – Т. 23. – №. 20. – С. 4235-4246.
 20. Chen F., Chen X., Van de Voorde T., Roberts D., Jiang, H., Xu W. Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*. – 2020. – Т. 242. – С. 111706.
 21. Li W., Du Z., Ling F., Zhou D., Wang H., Gui Y., Sun B., Zhang X. A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. *Remote Sensing*. – 2013. – Т. 5. – №. 11. – С. 5530-5549.
 22. Du Z., Linghu B., Ling F., Li W., Tian W., Wang H. et al. Estimating surface water area changes using time-series Landsat data in the Qingjiang River Basin, China. *Journal of Applied Remote Sensing*. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 063609.
 23. Pan F., Xi X., Wang C. A comparative study of water indices and image classification algorithms for mapping inland surface water bodies using Landsat imagery. *Remote Sensing*. – 2020. – Т. 12. – №. 10. – С. 1611.
 24. Rokni K., Ahmad A., Selamat A., Hazini, S. Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. *Remote sensing*. – 2014. – Т. 6. – №. 5. – С. 4173-4189.
 25. Huang C., Zan X., Yang X., Zhang S. Surface water change detection using change vector analysis. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – IEEE, 2016. – С. 2834-2837.
 26. G. Shao, L. Tang, H. Zhang Introducing Image Classification Efficacies IEEE Access, 9 (2021), pp. 134809-134816, 10.1109/ACCESS.2021.3116526
 27. EO Browser. Apps.sentinel-hub.com URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser> (дата звернення 10.01.2022)
 28. EarthExplorer. Earthexplorer.usgs.gov. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата звернення 10.01.2022)
 29. OneGeology. Portal.onegeology.org URL: <http://portal.onegeology.org/> (дата звернення 10.01.2022)
 30. QGIS – A Free and Open Source Geographic Information System. Qgis.org. URL: <https://www.qgis.org> (дата звернення 10.01.2022)
 31. Giovanni. The Bridge Between Data and Science. Giovanni.gsfc.nasa.gov. URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov> (дата звернення 10.01.2022).

References

1. Su Z., Yacob A., Wen J., Roerink G., He Y., Gao B. Voogard H., van Diepen C. Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. – 2003. – Т. 28. – №. 1-3. – С. 89-101.
2. Crétau J.F., Jelinski W., Calmant S., Kouraev A., Vuglinski V., Bergé-Nguyen M., Gennero M.-C., Nino F., Del Rio Abarca R., Cazenave A. SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data. *Advances in space research*. – 2011. – Т. 47. – №. 9. – С. 1497-1507.
3. Ines A.V., Honda K., Gupta A.D., Droogers P., Clemente R.S. Combining remote sensing-simulation modeling and genetic algorithm optimization to explore water management options in irrigated agriculture. *Agricultural water management*. – 2006. – Т. 83. – №. 3. – С. 221-232.
4. Feng Q., Liu J., Gong J. Urban flood mapping based on unmanned aerial vehicle remote sensing and random forest classifier – A case of Yuyao, China. *Water*. – 2015. – Т. 7. – №. 4. – С. 1437-1455.
5. Andres L., Boateng K., Borja-Vega C., Thomas E. A review of in-situ and remote sensing technologies to monitor water and sanitation interventions. *Water*. – 2018. – Т. 10. – №. 6. – С. 756.
6. Jain S. K., Singh V. P. *Water resources systems planning and management*. – Elsevier, 2003.
7. Jiang H., Feng M., Zhu Y., Lu N., Huang J., Xiao T. An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Remote Sensing*. – 2014. – Т. 6. – №. 6. – С. 5067-5089.
8. Rundquist D.C., Lawson M.P., Queen L.P., Cervený R.S. The relationship between summer-season rainfall events and lake-surface area. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. – 1987. – Т. 23. – №. 3. – С. 493-508.
9. Lu D., Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International journal of Remote sensing*. – 2007. – Т. 28. – №. 5. – С. 823-870.
10. Otukey J. R., Blaschke T. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2010. – Т. 12. – С. S27-S31.
11. Acharya T. D., Lee D. H., Yang I. T., Lee, J. K. Identification of water bodies in a Landsat 8 OLI image

- using a J48 decision tree //Sensors. – 2016. – Т. 16. – №. 7. – С. 1075.
12. Olthof I. Mapping seasonal inundation frequency (1985–2016) along the St-John River, New Brunswick, Canada using the Landsat archive. Remote Sensing. – 2017. – Т. 9. – №. 2. – С. 143.
 13. Frazier P.S., Page K.J. Water body detection and delineation with Landsat TM data. Photogrammetric engineering and remote sensing. – 2000. – Т. 66. – №. 12. – С. 1461-1468.
 14. Bastiaanssen W. G. M. et al. Remote sensing in water resources management: The state of the art. – International Water Management Institute, 1998.
 15. Nageswara Rao P. P., Mohankumar A. Cropland inventory in the command area of Krishnarajasagar project using satellite data. Remote sensing. – 1994. – Т. 15. – №. 6. – С. 1295-1305.
 16. McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International journal of remote sensing. – 1996. – Т. 17. – №. 7. – С. 1425-1432.
 17. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International journal of remote sensing. – 2006. – Т. 27. – №. 14. – С. 3025-3033.
 18. Feyisa G. L., Meilby H., Fensholt, R., Proud S. R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment. – 2014. – Т. 140. – С. 23-35.
 19. Domenikiotis C., Dalezios N. R., Loukas A., Karteris M. Agreement assessment of NOAA/AVHRR NDVI with Landsat TM NDVI for mapping burned forested areas. International Journal of Remote Sensing. – 2002. – Т. 23. – №. 20. – С. 4235-4246.
 20. Chen F., Chen X., Van de Voorde T., Roberts D., Jiang, H., Xu W. Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. Remote Sensing of Environment. – 2020. – Т. 242. – С. 111706.
 21. Li W., Du Z., Ling F., Zhou D., Wang H., Gui Y., Sun B., Zhang X. A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. Remote Sensing. – 2013. – Т. 5. – №. 11. – С. 5530-5549.
 22. Du Z., Linghu B., Ling F., Li W., Tian W., Wang H. et al. Estimating surface water area changes using time-series Landsat data in the Qingjiang River Basin, China. Journal of Applied Remote Sensing. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 063609.
 23. Pan F., Xi X., Wang C. A comparative study of water indices and image classification algorithms for mapping inland surface water bodies using Landsat imagery. Remote Sensing. – 2020. – Т. 12. – №. 10. – С. 1611.
 24. Rokni K., Ahmad A., Selamat A., Hazini, S. Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. Remote sensing. – 2014. – Т. 6. – №. 5. – С. 4173-4189.
 25. Huang C., Zan X., Yang X., Zhang S. Surface water change detection using change vector analysis. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – IEEE, 2016. – С. 2834-2837.
 26. G. Shao, L. Tang, H. Zhang Introducing Image Classification Efficacies IEEE Access, 9 (2021), pp. 134809-134816, 10.1109/ACCESS.2021.3116526
 27. EO Browser. Apps.sentinel-hub.com URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser> (дата звернення 10.01.2022)
 28. EarthExplorer. Earthexplorer.usgs.gov. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата звернення 10.01.2022)
 29. OneGeology. Portal.onegeology.org URL: <http://portal.onegeology.org/> (дата звернення 10.01.2022)
 30. QGIS – A Free and Open Source Geographic Information System. Qgis.org. URL: <https://www.qgis.org> (дата звернення 10.01.2022)
 31. Giovanni. The Bridge Between Data and Science. Giovanni.gsfc.nasa.gov. URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov> (дата звернення 10.01.2022).

Krytska Y.O., Biloborodova T.O. Geospatial images processing and analysis for remote surface water monitoring

Surface water is an important natural resource and plays an important role in many aspects of human life such as drinking water, agriculture, electricity production, transport and industry. Surface water changes influence on other natural resources and environment. Effective assessment of surface water dynamics is an important part of surface water monitoring. Recent research is often used methods based on geospatial images. The paper presents a study on methods, approaches and accuracy measures for remote surface water monitoring based on geospatial image processing and analysis. The stages of surface water monitoring based on geospatial images are defined and formalized. Image based methods of surface water monitoring are classified. These methods include methods based on spectral bands, supervised classification techniques based on machine learning methods, and unsupervised classification techniques based on water indexes. Issues of surface waters spatial-temporal analysis and accuracy measures are considered. The key measure of accuracy assessment is an overall accuracy of surface water extraction. Using of specific accuracy measure set such as producer's accuracy, user's accuracy, F-score and MICE coefficient can help to improve reliability of analysis assessment. The study on surface water monitoring based on water index is presented. The studying object is defined the lake Pishchane, Luhansk region, Ukraine in period of the spring flood in 2018-2019. The study on Pishchane surface water monitoring was based on the water index using normalized difference wetness index. Variabilities of color bands threshold is defined and improved for effective water and ground differentiation. Geospatial image analysis was evaluate using histogram. The study helps to defined a significant dependence of the method on the surface water extraction using normalized difference wetness index. We defined the clouds, fog, smog or temperature inversion on geospatial images can make water surface extraction worse. Therefore, atmospheric correction of satellite data to the L2A processing level is necessary.

Keywords: *surfaces water monitoring, water index, normalized difference wetness index, geospatial images classification*

Критська Яна Олександрівна – д.ф., доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: kritskayana@gmail.com

Білобородова Тетяна Олександрівна – к.т.н., доцент, докторант Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, e-mail: beloborodova.t@gmail.com

Стаття подана 30.12.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-18-23>

УДК 621.313.333

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ

Губаревич О.В., Мелконова І.В.

IMITATION MODELING OF INDUCTION MOTOR FOR INCREASING THE LEVEL OF DIAGNOSTIC SYSTEMS

Gubarevych O.V., Melkonova I.V.

Враховуючи досить широку сферу застосування асинхронних двигунів та складні умови їх експлуатації з постійно зростаючою ціною відмови, стрімко зростають і вимоги до їх надійності, своєчасного визначення стану та часу безвідмовної роботи, що забезпечує надійну і неперервну роботу асинхронних двигунів. Для підвищення рівня надійності та неперервної роботи асинхронних електродвигунів необхідно проводити удосконалення вже існуючих та розробку нових методів їх діагностування, що відбувається шляхом проведення досліджень процесів при різних дефектах двигунів з використанням сучасних засобів, зокрема імітаційного моделювання, за допомогою якого є можливість побудови моделі, що описують процеси так, як вони проходили б у дійсності. У роботі проведено аналіз принципу запропонованої імітаційної моделі асинхронного електродвигуна та проведено порівняння одержаних результатів моделювання з розрахунковими даними за класичною методикою, яка приведена в роботі. Максимальна похибка при порівнянні параметрів знаходиться у межах 0,045–6,365 %, що підтверджує адекватність моделі та великий рівень точності імітаційної моделі для якої були проведені розрахунки. Крім того, модель що розглядається у роботі, дає можливість створювати несиметричне обертове поле статора для проведення подальших досліджень пошкоджень обмотки при міжвиткових замиканнях, що є дуже актуальним питанням при визначенні технічного стану двигуна. У використуваній досліджуваній математичній моделі асинхронного двигуна передбачений алгоритм врахування зміни взаємної індуктивності обмоток від зміни комплексного опору однієї або декількох обмоток, таке удосконалення моделі дозволить суттєво збільшити явчу про динамічні процеси, які реально відбуваються у двигуні з несиметричними обмотками, а також забезпечити подальший розвиток проведення діагностичних заходів з виявленням ступеню пошкодження обмотки статора. Для проведення досліджень з більш широким колом можливих дефектів, що впливають на режими роботи двигунів слід використовувати математичну модель асинхронного двигуна з можливістю створення несиметричного обертаючого поля виконану в «загальмованих координатах» з врахуванням втрат в сталі та механічних втрат.

Ключові слова: імітаційне моделювання, асинхронний двигун, несиметрія обмоток, діагностика, обмотки статора

Вступ. Трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором є одними з найбільш поширених електричних машин, що використовуються для приводів різноманітних механізмів у всіх сучасних галузях. Найбільш ефективне використання асинхронних електродвигунів стримує їх висока пошкоджуваність. Щорічно виходять з ладу 20-25% від загальної кількості встановлених електродвигунів [1-3]. Враховуючи досить широку сферу застосування цих двигунів й, найчастіше, складність умов їх експлуатації з зростаючою ціною відмови, стрімко зростають і вимоги до їх надійності, своєчасного визначення стану та часу безвідмовної роботи. Багато несправностей і дефектів в складних умовах роботи швидко прогресують і виводять з ладу електродвигуни навіть з невеликим терміном експлуатації приводячи їх до аварійної зупинки. Своєчасне та достовірне визначення несправностей не тільки підвищує надійність двигунів, а й значно скорочує терміни ремонту та зменшує непередбачені витрати. Вітчизняний та зарубіжний досвід показує, що розробка та впровадження сучасних засобів діагностування є одним із найважливіших та ефективних факторів підвищення економічної ефективності використання електромеханічного обладнання в промисловості [1, 2].

Розробка нових та удосконалення існуючих методів діагностування асинхронних електричних двигунів відбувається шляхом проведення досліджень процесів при різних дефектах двигунів з використанням сучасних засобів зокрема імітаційного моделювання.

Метою роботи є проведення дослідження та аналіз результатів достовірності при використанні

імітаційної моделі асинхронного двигуна. Застосування достовірної математичної моделі при проведенні досліджень дасть можливість більш коректно враховувати вплив дефектів в роботі асинхронних двигунів для визначення методу їх діагностики та оцінювання ступеню пошкодження.

Для досягнення мети були виконані завдання:

- розраховані параметри базового двигуна за класичною методикою;
- проведено імітаційне моделювання в програмному середовищі MATLAB роботи асинхронного двигуна з використанням обраної математичної моделі;
- порівняння параметрів двигуна, отриманими при моделюванні, з результатами класичного розрахунку.

Постановка проблеми. Підвищення надійності асинхронних електричних двигунів у процесі експлуатації відбувається за рахунок постійного вдосконалення існуючих та розробки нових діагностичних методів, що можливе на підставі результатів досліджень процесів, що відбуваються при різних дефектах двигунів. В даний час існує значна кількість методів діагностики асинхронних двигунів, однак питання підвищення рівня діагностики електродвигунів, що відповідає сучасним експлуатаційним вимогам, продовжує залишатися невирішеним. Наявні методи в своїй більшості, враховують тільки граничний або допустимий стани параметрів обмотки, що не дозволяє оцінювати дефекти на ранній стадії їх розвитку [4]. Для забезпечення зростаючого рівня потреб діагностики та вибору відповідної методології необхідно проводити ретельні дослідження процесів прояву різних дефектів, які викликають відмови асинхронних електродвигунів [3]. Для цих завдань необхідно використання математичної моделі асинхронного двигуна високого ступеня достовірності з можливістю дослідження в тому числі і при несиметричних режимах, що виникають в процесі експлуатації при різного виду пошкодженнях статора. Можливість створення в імітаційній моделі несиметричного режиму роботи двигуна дозволяє проводити дослідження більшого колу дефектів, що виникають.

Результати дослідження. Математичному моделюванню асинхронних електродвигунів присвячені роботи багатьох авторів з різними методичними підходами. Ряд авторів в своїх моделях використовують припущення, що система напруг живлення асинхронного двигуна є симетричною і синусоїдальною, обмотки статора та ротора є симетричними, а статор та ротор машини є гладкими. Такому підходу до моделювання асинхронних машин присвячена значна кількість робіт, але кожна з запропонованих моделей призначена для вирішення однієї практичної задачі. Так, в роботі [5] вирішується задача побудови моделі для точного визначення частоти обертання валу двигуна, що працює з навантаженням за рахунок втрат електричної потужності в сталі двигуна. Робота [6] присвячена визначенню розробці асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором,

що працює зі змінним навантаженням. Для вирішення задачі багатокритеріального керування приводом з асинхронним двигуном в роботі [7] запропоновано відповідну модель. Модель для точного вимірювання механічної координати асинхронного двигуна розглянута в дослідженні [8], а метод ідентифікації механічних параметрів – в дослідженні [9].

Отримані за допомогою цих методів математичні моделі дозволяють досліджувати динамічні процеси в електроприводах з асинхронними двигунами, але при умові симетрії обмоток статора і ротора та при якійсій системі живлення електричної машини.

Однак, не зважаючи на припущення, що система напруг живлення є симетричною і синусоїдальною при аналізі роботи асинхронних двигунів з дефектами, слід враховувати той факт, що більшість дефектів призводять саме до несиметричних режимів в асинхронному двигуні. При несиметрії фаз статора змінюються комплексні опори фаз, що в свою чергу призводить до зміни індуктивності фаз. Зміна індуктивності фаз призводить до зміни індуктивності магнітного ланцюга двигуна. Врахування зміни індуктивності магнітного ланцюга двигуна при реалізації математичної моделі приведені в дослідженні [10], де авторами запропоновано визначення індуктивності асинхронного двигуна за кривою намагнічування.

Для проведення досліджень електромагнітних процесів при імітаційному моделюванні асинхронних двигунів необхідний також коректний вибір системи координат, в яких складені диференціальні рівняння, що описують роботу асинхронного двигуна. При моделюванні асинхронних двигунів з несиметричними обмотками для отримання найбільш достовірних результатів слід використовувати систему диференціальних рівнянь в «загальмованих координатах» [11].

Таким чином, для проведення подальших досліджень з більш широким колом можливих дефектів, що впливають на режими роботи двигунів слід використовувати математичну модель асинхронного двигуна з можливістю створення несиметричного обертаючого поля виконану в «загальмованих координатах» з врахуванням втрат в сталі та механічних втрат. Крім того, для реалізації вказаного принципу моделювання слід враховувати взаємну індуктивність обмоток при зміні комплексного опору однієї або декількох фаз статорної обмотки, що імітує її пошкодження.

Запропонована та використана в роботі імітаційна модель асинхронного двигуна, для якої встановлюється достовірність реальним процесам, виконана в «загальмованих координатах», наведена та докладно розглянута в роботах [12-14]. Загальний вид моделі наведено у роботі [12], у роботі [13] розглянуто її реалізацію у програмному середовищі MATLAB та у роботі [14] – реалізація математичної моделі [12] з урахуванням зміни взаємної індуктивності при зміні комплексного опору однієї чи кількох фаз двигуна. Вказана модель може бути адапто-

вана для дослідження роботи асинхронного двигуна при виникненні в ньому такого дефекту як міжвиткове замикання обмоток статора, що визиває несиметричне поле обертання, а також для визначення пускових та робочих характеристик двигуна, розрахунку енергетичних показників при роботі асинхронного двигуна із зазначеним дефектом. Таким чином, імітаційне моделювання асинхронного електродвигуна проводилося з використанням математичної моделі, приведеної в роботі [14].

В якості базового двигуна для проведення досліджень обраний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором серії АІР132М4, потужністю 11кВт з синхронною частотою обертання поля статора 1500об/хв, напругою живлення 220/380 В. Паспортні характеристики двигуна приведені в табл.1.

Таблиця 1

Паспортні дані асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором АІР132М4

Параметр	Значення
Номінальна потужність $P_{ном}$, кВт	11,0
Номінальна фазна напруга $U_{ном}$, В	220
Частота мережі f , Гц	50
Частота обертання в режимі холостого ходу (близько) n_0 , об/хв	1498
Частота обертання при номінальному навантаженні $n_{ном}$, об/хв	1450
Момент холостого ходу M_0 , Нм	0,38
Момент при номінальному режимі $M_{ном}$, Нм	72,671
Число витків фази обмотки статора w_1	96
Струм холостого ходу I_0 , А	9,44
Амплітуда струму холостого ходу I_m , А	13,35
Активний опір обмотки статора r_1 , Ом	0,5
Реактивний опір обмотки статора x_1 , Ом	0,56
Активний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора r'_2 , Ом	0,36
Реактивний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора x'_2 , Ом	0,938

Для номінального режиму вказаного базового двигуна за класичною методикою, наведеною в роботі [15], розраховані основні параметри для проведення порівняння, які приведені в табл.2.

Після задання на моделі симетричної трифазної напруги статору, часова характеристика якої приведена на рис. 1, в результаті моделювання отримані часові діаграми фазних струмів статору (рис. 2) для номінального режиму. Значення фазних напруг статору та фазних струмів статору задані миттєвими значеннями цих параметрів.

Отримані та розраховані по результатах моделювання основні параметри двигуна для номінального режиму, які в порівнянні з даними розрахунків, виконаних раніше за класичною методикою [15], наведені в табл. 2.

Як видно з табл. 2, похибка моделювання є досить низькою та знаходиться у межах 0,045 – 6,365 %. Це свідчить про високу точність моделювання і імітації процесів, що відбуваються в асинхронному двигуні із симетричними обмотками. Тоб-

то, можна вважати імітаційну модель асинхронного двигуна адекватною з високим ступенем достовірності.

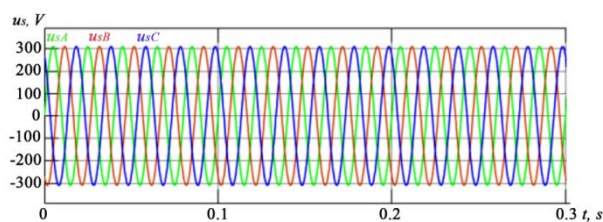


Рис. 1. Часові діаграми фазних напруг статору для номінального режиму

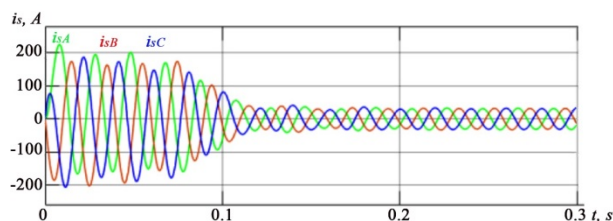


Рис. 2. Часові діаграми фазних струмів статору для номінального режиму

Таблиця 2

Результати моделювання і розрахунків параметрів двигуна

Параметр	Розрахунок	Моделі	Відносна похибка, %
Момент на валу двигуна M , Н·м	72,671	72,443	0,314
Частота обертання валу двигуна n , об/хв	1450	1450	0
Корисна потужність P_{a2} , кВт	11,005	11,0	0,045
Активна потужність, що споживається з мережі P_{a2} , кВт	12,491	12,29	1,609
Реактивна потужність, що споживається з мережі Q_{a1} , кВ·Ар	7,84	7,479	4,604
Повна потужність, що споживається з мережі S , кВ·А	14,748	14,39	2,427
Діюче значення струму фази статора I_1 , А	22,343	21,80	2,43
Втрати в сталі ΔP_{σ} , Вт	215,16	211,798	1,563
Втрати в міді статора ΔP_{e1} , Вт	748,8	701,137	6,365
Втрати в міді ротора ΔP_{e2} , Вт	390,4	378,14	-3,14
Механічні втрати $\Delta P_{мех}$, Вт	59,743	59,743	0
ККД, η , %	88,1	89,5	-1,593
Коефіцієнт потужності $\cos\phi_1$	0,847	0,854	-0,834

Характеристики асинхронного двигуна (рис. 1, 2), отримані в результаті імітаційного моделювання, свідчать про високу стійкість алгоритму реалізації математичної моделі двигуна в програмному середовищі *Matlab*.

Висока збіжність результатів пояснюється тим, що у застосованій математичній моделі асинхронного двигуна «в загальмованих координатах» використовується такий параметр, як взаємна індуктивність, що залежить від індуктивності магнітного ланцюга двигуна. Індуктивність магнітного ланцюга є сумою частинних взаємних індуктивностей кожної фази обмоток статора і ротора. Частинні взаємні індуктивності, як і індуктивності розсіювання фази, в першу чергу залежать від геометричних розмірів обмоток, зокрема від кількості витків. Зміна кількості витків однієї з фаз обмотки статора призводить до зміни індуктивності розсіювання цієї фази обмотки статора і до зміни частинних взаємних індуктивностей, пов'язаних з цією фазою. Врахування зміни повної взаємної індуктивності обмоток двигуна в моделі й забезпечило високий рівень збіжності результатів моделювання і розрахункових даних.

Перевагами використання даної імітаційної моделі є можливість дослідження динамічних процесів в асинхронному двигуні з короткозамкненим ротором, що має несиметричні обмотки статора з високою достовірністю результатів.

Висока достовірність визначення параметрів двигуна досягається за рахунок:

– введення додаткового статичного моменту, що враховує механічні втрати та втрати в сталі двигуна;

– врахування зміни величини взаємної індуктивності при зміні комплексного опору обмоток двигуна.

Використовуючи дану модель з встановленою високою адекватністю реальній системі асинхронного електродвигуна доцільно проводити дослідження процесів, що відбуваються в двигуні при міжвитковому замиканні в одній або декількох фазах, діагностики ступеню міжвиткового замикання в обмотці статора, а також дослідження роботи асинхронного двигуна з несиметричними обмотками, при неякісній системі живлення. Результати наведених досліджень корисні при подальшому удосконаленні рівня діагностики асинхронних електродвигунів.

Висновки. Проведені дослідження щодо використання імітаційного моделювання при вивченні процесів та розробках діагностичних систем асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором показали доцільність використання математичної моделі в програмному середовищі *Matlab* у якій диференціальні рівняння записані у «загальмованих координатах» та передбачена можливість створення несиметричного обертального поля статора.

З метою встановлення ступеня адекватності запропонованої математичної моделі, в роботі здійснено порівняння отриманих результатів імітаційного моделювання з результатами розрахунків згідно класичної методики. Максимальна похибка при визначенні параметрів знаходиться у межах 0,045–6,365, %, що підтверджує адекватність та великий рівень точності імітаційної моделі. Отримані в результаті імітаційного моделювання часові діаграми фазних напруг та фазних струмів свідчать про високу стійкість алгоритму реалізації математичної моделі двигуна в програмному середовищі *Matlab*.

У використованій математичній моделі асинхронного двигуна передбачений алгоритм врахування зміни взаємної індуктивності обмоток від зміни комплексного опору однієї або декількох обмоток, що дозволить значно збільшити уяву про динамічні процеси, які реально відбуваються у двигуні з несиметричними обмотками, та забезпечити подальший розвиток проведення діагностичних заходів з виявленням ступеню пошкодження обмотки статора.

Література

1. Ciprian H. Wavelet Analysis and Park's Vector Based Condition Monitoring of Induction Machines. / H. Ciprian, L. Szabó // Journal of Computer Science and Control Systems, Vol.4, No 2, 2011, pp 35 -38.
2. Губаревич О.В., Гулак С.О., Голубєва С.М. Комплексний підхід до діагностування асинхронних електродвигунів водного транспорту: Новітні технології. Збірник наукових праць Приватного вищого навчального закладу «Університет новітніх технологій». К.: ПВНЗ «Університет новітніх технологій», 2019. Випуск 2(9). С.48-61.
3. Губаревич О.В. Надійність і діагностика електрообладнання: Підручник / О.В. Губаревич. Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. 248 с.
4. Губаревич О.В., Голубєва С.М. Аналіз методів діагностики технічного стану ізоляції асинхронних двигунів: Всеукраїнський науковий збірник «Наукові праці Донецького національного технічного університету». Серія «Електротехніка і енергетика» – Покровськ: Вид.: Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», №1(21), 2019. С. 55-63.
5. Chioncel, C. P., Tirian, G. O., Gillich N., Raducha E.. Vector Control Structure of an Asynchronous Motor at Maximum Torque [Text] /C. P. Chioncel, G. O. Tirian, N. Gillich, E. Raducha//International Conference on Applied Sciences – 2015. P. 012005 – 012010.
6. Pakkiraian, B., Sukumar, G.D. A New Modified Artificial Neural Network Based MPPT Controller for the Improved Performance of an Asynchronous Motor Drive [Text]/B. Pakkiraian, G.D. Sukumar//Indian Journal of Science and Technology. 2016 – Vol. 9, Issue 45. – P. 1 10.
7. Guo, Z., Zhang, Q.-Wei. The Study on Mathematical Model and Simulation of Asynchronous Motor Considering Iron Loss [Text]/Z. Guo, Q.-Wei Zhang//Journal of Physics: Conf. Series 1060. 2018. P. 012085 – 012090.
8. Dementyev Y.N., Umurzakova A.D. The Engine Mechanical Coordinates Measuring In The Asynchronous Motor

- [Text]/Y. N. Dementyev, A. D. Umurzakova// MATEC Web of Conferences. 2014. P. 01027-01032.
9. Balara, D., et al. Neural networks application for mechanical parameters identification of asynchronous motor [Text]/ D. Balara, J. Timko, J. Zilkov, A. M. Le So//Neural Network World. 2017 Vol. 27, Issue 3. P. 259-270.
 10. Ruan, J. Y., & Wang, S. M. (2015). Magnetizing curve estimation of induction motors in single-phase magnetization mode considering differential inductance effect. IEEE Transactions on Power Electronics, 31(1), 497-506.
 11. Singh, A., Grant, B., DeFour, R., Sharma, C., & Bahadoorsingh, S. (2016). A review of induction motor fault modeling. Electric Power Systems Research, 133, 191-197.
 12. Pustovetov, M. Yu. A mathematical model of the three-phase induction motor in three-phase stator reference frame describing electromagnetic and electromechanical processes. IEEE Conference 2016 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. Omsk [online]. 2016, p. 1-5. Available from: <https://doi.org/10.1109/Dynamics.2016.7819069>.
 13. Pustovetov, M. Yu. Approach to Computer Implementation of Mathematical Model of 3-Phase Induction Motor//IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering [online]. 2018, 327(2), p. 022085. Available from: <https://10.1088/1757-899X/327/2/022085>.
 14. Goolak, S., Gubarevych, O., Yermolenko, E., Slobodyanyuk, M., Gorobchenko, O. Development of mathematical model of induction motor for vehicles. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020, 2/2 (104), pp.24-35. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.199559.
 15. Копылов И.П. Проектирование электрических машин: учебник для вузов. М.: Юрайт, 2019. 828 с.
 - Pakkiraian, G.D. Sukumar//Indian Journal of Science and Technology. - 2016 – Vol. 9, Issue 45. – P. 1-10.
 7. Guo, Z., Zhang, Q.-Wei. The Study on Mathematical Model and Simulation of Asynchronous Motor Considering Iron Loss [Text]/Z. Guo, Q.-Wei Zhang//Journal of Physics: Conf. Series 1060. – 2018. – P. 012085 – 012090.
 8. Dementyev Y.N., Umurzakova A.D. The Engine Mechanical Coordinates Measuring In The Asynchronous Motor [Text]/Y. N. Dementyev, A. D. Umurzakova// MATEC Web of Conferences. – 2014. – P. 01027-01032.
 9. Balara, D., et al. Neural networks application for mechanical parameters identification of asynchronous motor [Text]/ D. BALARA, J. TIMKO, J. ZILKOV, A. M. LE SO//Neural Network World. – 2017 - Vol. 27, Issue 3. – P. 259-270.
 10. Ruan, J.-Y., Wang, S.-M.. Magnetizing Curve Estimation of Induction Motors in Single-Phase Magnetization Mode Considering Differential Inductance Effect [Text]/J.-Y.Ruan, S.-M. Wang //IEEE Transactions On Power Electronics. 2016. Vol. 31, Issue 8. – C. 497-506.
 11. Singh, A., et al. A review of induction motor fault modeling [Text]/A. Singh, B. Grant, R. DeFour, C. Sharma, S. Bahadoorsingh//Electric Power Systems Research. – 2016. - № 133 – C. 191-197.
 12. Pustovetov, M. Yu. A mathematical model of the three-phase induction motor in three-phase stator reference frame describing electromagnetic and electromechanical processes. IEEE Conference 2016 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. Omsk [online]. 2016, p. 1-5. Available from: <https://doi.org/10.1109/Dynamics.2016.7819069>.
 13. Pustovetov, M. Yu. Approach to Computer Implementation of Mathematical Model of 3-Phase Induction Motor//IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering [online]. 2018, 327(2), p. 022085. Available from: <https://10.1088/1757-899X/327/2/022085>.
 14. Goolak, S., Gubarevych, O., Yermolenko, E., Slobodyanyuk, M., Gorobchenko, O. Development of mathematical model of induction motor for vehicles. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020, 2/2 (104), pp.24-35. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.199559.
 15. Kopylov I.P. Proyektirovaniye elektricheskikh mashin: uchebnik dlya vuzov. M.: Yurayt, 2019. 828 s.

References

1. Ciprian H. Wavelet Analysis and Park's Vector Based Condition Monitoring of Induction Machines. / H. Ciprian, L. Szabó // Juornal of Computer Science and Control Systems, Vol.4, No 2, 2011, pp 35 -38.
2. Gubarevych O.V., Goolak S.O. and Golubyeva S.M. (2019), "Complex pidhid to the diagnosis of asynchronous electric motors for water transport", New technology: Collection of scientific works of the Private Higher Educational Institution "University of Advanced Technologies". Kyiv, PVNZ "University of new technologies", Vol.2 (9), pp. 48-61.
3. Gubarevych O.V. Nadiynist' i diahnostryka elektroobladnannya: Pidruchnyk / O.V. Hubarevych. Syevyerodonets'k: vyd-vo SNU im. V. Dallya, 2016. 248 s.
4. Gubarevych, O.V. and Golubyeva, S.M. (2019), Analysis of methods for diagnosing a technical camp of asynchronous motors [in Ukrainian]. All-Ukrainian science zbirnik "Science and Technology of Donetsk National Technical University." Seriya "Electrotechnics and energy". Pokrovsk, Donetsk region: The sovereign supreme principal mortgage "Donetsk National Technical University". Vol. 1(21), pp. 55-63.
5. Chioncel, C. P., Tirian, G. O., Gillich N., Raducha E.. Vector Control Structure of an Asynchronous Motor at Maximum Torque [Text] /C. P. Chioncel, G. O. Tirian, N. Gillich, E. Raducha//International Conference on Applied Sciences – 2015. - P. 012005 – 012010.
6. Pakkiraian, B., Sukumar, G.D. A New Modified Artificial Neural Network Based MPPT Controller for the Improved Performance of an Asynchronous Motor Drive [Text]/B.

Gubarevych O. V., Melkonova I.V. Imitation modeling of induction motor for increasing the level of diagnostic systems

Given the wide range of applications of induction motors and the difficult conditions of their operation with the ever-increasing cost of failure, the requirements for their reliability, timely determination of the state and time of trouble-free operation are growing rapidly. To increase the level of reliability of asynchronous electric motors, it is necessary to improve existing and develop new methods of diagnosing them, which is done by studying the processes of various motor defects using modern tools, including simulation. The analysis of the principle of the proposed simulation model of an induction motor and the comparison of the obtained simulation results with the calculated ones according to the classical method are carried out. In order to establish the degree of adequacy of the proposed mathematical model, the paper compares the results of simulation with the results of calculations according to the classical method. The maximum error when comparing the parameters is in the range of 0.045-6.365%, which confirms

the adequacy and high level of accuracy of the simulation model. Using this model with high adequacy of the real induction motor system, it is advisable to study the processes occurring in the motor during interturn short circuit in one or more phases, diagnose the degree of interturn short circuit in the stator winding, as well as study of asynchronous asynchronous motor nutrition. The advantages of using this simulation model are the ability to study dynamic processes in an induction motor with a short-circuited rotor having asymmetric stator windings with high reliability of results. In addition, the model considered in this paper makes it possible to create an asymmetric rotating stator field for further studies of winding damage in interturn short circuits, which is very important in determining the state of the motor. The mathematical model of an induction motor uses an algorithm to take into account changes in the mutual inductance of windings from changes in the complex resistance of one or more windings, which will significantly increase the idea of dynamic processes actually occur-

ring in a motor with asymmetric windings. damage to the stator winding.

Key words: *simulation, induction motor, winding asymmetry, diagnostics, stator windings.*

Губаревич Олег Володимирович – к.т.н., доцент, зав. кафедри судноводіння та експлуатації електротехнічних систем на водному транспорті Державного університету інфраструктури та технологій, oleg.gbr@ukr.net

Мелконова Інна Вікторівна – к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, melkonova@snu.edu.ua

Стаття подана 29.12.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-24-35>

УДК 621.926

ПОПЕРЕДНЄ ОБРОБЛЕННЯ ПУЛЬПИ УЛЬТРАЗВУКОМ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ РУДНИХ ЗЕРЕН ТА ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ ФЛОКУЛОУТВОРЕНЬ НА ОСНОВІ ЕФЕКТІВ КАВІТАЦІЇ

Моркун В.С., Моркун Н.В., Тронь В.В., Сердюк О.Ю., Гапоненко І.А., Гапоненко А.А.

PRELIMINARY TREATMENT OF PULP BY ULTRASOUND FOR CLEANING OF ORE GRAINS AND DISINTEGRATION OF FLOCCULATION FORMATIONS BASED ON THE EFFECTS OF CAVITATION

Morkun V.S., Morkun N.V., Tron V.V., Serdiuk O.Y., Haponenko I.A., Haponenko A.A.

Метою роботи є підвищення ефективності флотаційного доведення магнетитових концентратів шляхом дезінтеграції рудних флокулоутворень та очищення поверхні часток. Запропоновано застосовувати нелінійні ефекти поля високоенергетичного ультразвуку та дослідити особливості формування кавітаційних режимів у залізорудній пульпі для дезінтеграції рудних флокулоутворень та очищення поверхні часток рудної сировини. На основі узагальненої моделі динаміки руху повітряних бульбашок, представленій у вигляді рівняння Релея-Плессета, розраховано параметри ультразвукового впливу для формування і підтримання у залізорудній пульпі кавітаційних процесів і акустичних течій. На підставі дослідження закономірностей протікання кавітаційних процесів одержано залежності, які дозволяють визначити оптимальну частоту високоенергетичного ультразвуку для підтримання кавітаційних процесів у залізорудній пульпі у залежності від параметрів її складових. Для моделювання процесу поширення ультразвукового сигналу в рідкому середовищі в умовах зміни швидкості поширення звуку та зміни цілості використовують метод k-space першого й другого порядку, заснований на системі лінійних рівнянь першого порядку. Розрахунок потужності високоенергетичного ультразвуку, що дозволяє підтримувати кавітаційні режими у залізорудній пульпі, здійснювався на основі результатів дослідження поширення фронту ультразвукового імпульсу за допомогою комп'ютерного моделювання. На основі результатів моделювання встановлено, що для підвищення якості очищення часток руди перед флотацією доцільно здійснювати просторовий вплив на залізорудну пульпу, який включає комбінацію високоенергетичного ультразвуку з частотою 20 кГц в кавітаційному режимі, модульованого високочастотними імпульсами з частотою від 1 до 5 МГц та імпульсного магнітного поля сталої напруженості. При дослідженні процесу флокулоутворення та дефлокуляції враховано залежність величини магнітної сприйнятливості часток рудної сировини від тривалості намагнічування. Результати експериментальних досліджень використання пристрою розмагнічування часток залізорудної пульпи, одержані із застосуванням ультразвукового гранулометра «Пульсар».

Ключові слова: ультразвук, кавітація, залізорудна пульпа, дезінтеграція, флокулоутворення

Вступ. Під дією ультразвуку в рідкому середовищі відбуваються фізичні, хімічні та фізико-хімічні процеси, до яких відносять: кавітацію, радіаційний тиск і ультразвукові потоки [1,2]. Оскільки рідини є чутливими до розтяжних зусиль, отже під впливом потужних ультразвукових коливань у рідині виникають зони стиснення та розрідження. При проходженні фази хвилі, що створює розрідження, у рідині утворюється велика кількість розривів у вигляді кавітаційних бульбашок, які в наступній фазі стиснення різко закриваються.

Різнюючи в дії ультразвуку на окремі мінерали було успішно використано в низці робіт [3–5]. Наприклад, встановлено можливість подрібнення мінералів шаруватої структури (графіт, молібденіт) до високого ступеня дисперсності. Процес подрібнення молібденіту в умовах надлишкового статичного тиску дозволяє за один і той же час отримати продукт, дисперсність якого в 2–3 рази вища від дисперсності продукту, одержуваного при атмосферному тиску [3].

Застосування ультразвуку при переробці рудної сировини залишається актуальною сферою протягом тривалого часу. Зокрема, впровадження ультразвуку у водну систему переробки рудної сировини забезпечує специфічну активацію на основі двох фізичних явищ: акустичної кавітації та акустичного вітру [6–9]. Виділення газу у процесі акустичної кавітації є найбільш переважним при меншій частоті в діапазоні від 20 до 40 кГц, тоді як акустичний вітер домінує на частотах вище 400 кГц та 1 МГц в ультразвуковій та мегазвуковій системах відповідно [6]. Швидкий розпад кавітаційних бульбашок не тільки спричиняє дефрагментацію часток, але й створює значну силу зсуву в об'ємному середовищі, що призводить до генерування енергійних ефектів перемішування та акустичного вітру. Поєднання цих ефек-

тів призводить до розриву вугільно-домішкових зв'язків, видалення шламового покриття з вугілля, забивання реагенту в серцевину часток, поліпшення масообміну, збільшення площі поверхні часток вугілля і, нарешті, допомагає у вдосконаленні фізичного, фізико-хімічного та хімічного процесів збагачення вугілля. Ефекти кавітації та акустичного вітру також відповідають за посилення подрібнюваності, суспензійності та ефективності зневоднення вугільної суспензії. Важливо відзначити, що ефект кавітації підвищує температуру середовища для суспензії вугілля під час ультразвукової обробки, і це може вплинути на властивості вугілля, оскільки вугілля чутливе до температури.

Результати експериментів [10] продемонстрували підвищення виходу чистого вугілля з 3% до 10%, більше видобутку чистого вугілля та зменшення вмісту сірки, ртуті, золи та вологі в обробленому вугіллі. Ці результати були пов'язані з ультразвуковими ударними хвилями, що утворюються внаслідок кавітації бульбашок, що відповідає за порушення властивих зв'язків між вугіллям та золеутворюючими мінеральними домішками, та очищенням часток вугілля від домішок. Кавітація також сприяла видаленню небажаних часток глини, шламів та продуктів окислення, що покривають поверхню вугілля.

Застосування згаданих методів є перспективним підходом до підвищення ефективності технологічних процесів збагачення залізорудної сировини [11,12]

Метою роботи є підвищення ефективності флотаційного доведення магнетитових концентратів шляхом дезінтеграції рудних флокулоутворень та очищення поверхні часток.

Для досягнення поставлено мети необхідно дослідити особливості формування кавітаційних режимів у залізорудній пульпі за допомогою високоенергетичного ультразвуку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо математичний опис кавітаційних процесів у неоднорідному гетерогенному середовищі. Узагальнену модель динаміки руху бульбашок (у разі залежного від часу тиску й розміру бульбашок) представлено у вигляді рівняння Релея-Плессета (Rayleigh-Plesset) [1,13]. Розв'язання рівняння Релея-Плессета для певного значення тиску $p_\infty(t)$ дозволяє отримати величину радіуса бульбашок $dR_b(t)$

$$\frac{dR_b}{dt} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_{vap}(t) - p_\infty(t)}{\rho_1}}. \quad (1)$$

де R_b – радіус бульбашки, мкм; p_∞ – значення тиску у середовищі при нескінченності, Па; p_{vap} – тиск пари, Па; ρ_1 – густина рідини, кг/м³.

У праці [14] запропоновано кавітаційну модель, що базується на повній моделі кавітації. Вираз швидкості зміни чистої фази одержують на основі рівнянь двофазної неперервності:

для рідкої фази

$$\frac{\partial}{\partial t}((1-\alpha)\rho_1) + \frac{\partial}{\partial x_j}((1-\alpha)\rho_1 \bar{u}_j) = -R, \quad (2)$$

для парової фази

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha\rho_{vap}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\alpha\rho_{vap} \bar{u}_j) = R, \quad (3)$$

для суміші

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_j) = 0, \quad (4)$$

де R – швидкість зміни фази $R=R_e-R_c$; ρ , ρ_1 , ρ_{vap} – густина суміші, рідини, пари, кг/м³, α – об'ємна частка пари, $\bar{u}_j$ – швидкість.

Густина суміші визначається як

$$\rho = \alpha\rho_{vap} + (1-\alpha)\rho_1. \quad (5)$$

де α – об'ємна частка пари; ρ_{vap} – густина пари, кг/м³; ρ_1 – густина рідини, кг/м³.

Об'єднання рівнянь (2)–(4) дає співвідношення між густиною суміші та об'ємною часткою пари α

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) = -(\rho_1 - \rho_{vap}) \frac{\partial}{\partial t}(\alpha) \quad (6)$$

де ρ – густина суміші, кг/м³; α – об'ємна частка пари; ρ_{vap} – густина пари, кг/м³; ρ_1 – густина рідини, кг/м³.

Об'ємна частка пари α визначається з f як

$$\alpha = f \frac{\rho}{\rho_{vap}}. \quad (7)$$

Швидкості масообміну задаються такими рівняннями:

якщо $\rho \leq \rho_{vap}$

$$R_e = C_e \frac{v_{ch}}{\sigma} \rho_1 \rho_{vap} \sqrt{\frac{2(p_{vap} - p)}{3\rho_1}} (1-f), \quad (8)$$

якщо $\rho \geq \rho_{vap}$

$$R_c = C_c \frac{v_{ch}}{\sigma} \rho_1 \rho_{vap} \sqrt{\frac{2(p - p_{vap})}{3\rho_1}} f, \quad (9)$$

де v_{ch} – характеристична швидкість, яка є наближенням до локальної турбулентної геометрії (наприклад, $v_{ch} = \sqrt{k}$); C_e і C_c – емпіричні константи.

Грунтуючись на припущенні про однакові розміри всіх бульбашок в системі, у праці [15] запропоновано модель кавітації, яка дозволяє обчислювати загальну швидкість міжфазного масоперенесення на одиницю об'єму з використанням густини бульбашок

$$R = \frac{3\alpha\rho_{vap}}{R_b} \sqrt{\frac{2(p_{vap} - p)}{3\rho_1}}, \quad (10)$$

де R_b – радіус бульбашки, м; p_{vap} – тиск пари, Па.

У рівнянні (10) швидкість масообміну одиничного об'єму пов'язана тільки із щільністю парової фази ρ_{vap} . Це рівняння виходить за умови зростання бульбашок (випаровування). Щоб застосувати його до процесу схлопування бульбашок (конденсації), використовується такий узагальнений вираз

$$R_e = F \frac{3\alpha\rho_{vap}}{R_b} \sqrt{\frac{2(p_{vap} - p)}{3\rho_1}} \text{sign}(p_{vap} - p), \quad (11)$$

де F – емпіричний калібрувальний коефіцієнт.

Швидкість зміни маси однієї бульбашки отримано з виразу

$$\frac{dm_b}{dt} = 4\pi R_b^2 \rho_{vap} \sqrt{\frac{2(p_{vap} - p)}{3\rho_1}}. \quad (12)$$

де m_b – маса бульбашки, кг;

Якщо на одиницю об'єму припадає n_b бульбашок, об'ємна частка пари може бути виражена таким чином

$$\alpha = V_b n_b = \frac{4}{3} \pi R_b^3 n_b. \quad (13)$$

де n_b – кількість бульбашок у об'ємі.

У міру збільшення об'ємної частки пари густина ділянки утворення бульбашок повинна відповідно зменшуватися. Для моделювання цього процесу у праці [15] запропоновано замінити α на $\alpha_{nuc}(1-\alpha)$ у рівнянні (11). Тоді остаточна форма цієї моделі кавітації запишеться в такий спосіб:

якщо $p \leq p_{vap}$

$$R_e = F_{vap} \frac{3\alpha_{nuc}(1-\alpha)\rho_{vap}}{R_b} \sqrt{\frac{2(p_{vap} - p)}{3\rho_1}}, \quad (14)$$

якщо $p \geq p_{vap}$

$$R_c = F_{cond} \frac{3\alpha\rho_{vap}}{R_b} \sqrt{\frac{2(p - p_{vap})}{3\rho_1}}. \quad (15)$$

Згідно з моделлю кавітації, запропонованої у праці [16], Рівняння для об'ємної частки пари α отримують із виразу

$$R = \frac{\partial}{\partial t}(\rho_{vap}\alpha) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho_{vap}\alpha \bar{u}_j), \quad (16)$$

де R – швидкість випаровування, кг/год.

$$R = \frac{\rho_{vap}\rho_1}{\rho} \left(\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \frac{\partial(u_j \alpha)}{\partial x_j} \right). \quad (17)$$

При підставленні рівняння(16) в рівняння (17) отримаємо

$$R = \frac{\rho_{vap}\rho_1}{\rho} \alpha(1-\alpha) \frac{3}{R_b} \sqrt{\frac{2(p_{vap} - p)}{3\rho_1}}. \quad (18)$$

Радіус бульбашки визначено з виразу

$$R_b = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{3}{4\pi n_b} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (19)$$

Також у цій моделі єдиним параметром, який необхідно визначити, є кількість сферичних бульбашок у об'ємі рідини n_b .

Рівняння (18) також використовується для моделювання процесу конденсації. Кінцева форма моделі виглядає таким чином:

якщо $p \leq p_{vap}$

$$R_e = \frac{\rho_v \rho_1}{\rho} \alpha(1-\alpha) \frac{3}{R_b} \sqrt{\frac{2(p_{vap} - p)}{3\rho_1}}, \quad (20)$$

якщо $p \geq p_{vap}$

$$R_c = \frac{\rho_v \rho_1}{\rho} \alpha(1-\alpha) \frac{3}{R_b} \sqrt{\frac{2(p - p_{vap})}{3\rho_1}}. \quad (21)$$

У праці [17] показано, що в разі, коли ультразвукова частота невелика (<1 МГц) й амплітуда тиску набагато менша від атмосферного статичного тиску (101 кПа), бульбашка буде перебувати в стані стійкої кавітації – коливатися навколо свого початкового радіуса в періодичному режимі. Опис даного процесу запропоновано здійснювати за допомогою емпіричного рівняння на основі спрощеної моделі Келлера-Херрінга [18]

$$R_0 \approx 3 \{M\Gamma u\} \frac{\mu m}{f_0^{lin}}, \quad (22)$$

Таблиця 1

Параметри ультразвукових кавітаційних режимів

f, МГц	P, МПа								
	0,01	0,1	0,3	0,5	0,7	1,0	3,0	5,0	8,0
0,5	4,7795	2,19727	0,8092	0,4899	0,3508	0,2459	0,0820	0,0492	0,03078
1,0	3,1273	1,9404	0,7942	0,4865	0,3495	0,2454	0,0820	0,0492	0,03077
3,0	1,4147	1,2281	0,7101	0,4651	0,3413	0,2425	0,0819	0,0492	0,03076
5,0	0,9290	0,8697	0,6152	0,4351	0,3289	0,2380	0,0817	0,0492	0,03075

де R_0 – радіус бульбашки, мкм; μ – коефіцієнт зсувної в'язкості, f_0^{lin} – ультразвукова частота, МГц.

Слід зазначити, що при більш високому рівні тиску реакція бульбашок також багато в чому залежить від амплітуди тиску ультразвукового поля і, отже, рівняння (22) вже неможливе в цьому сценарії «інерційної кавітації».

У праці [18] отримано вирази, що дозволяють обчислити оптимальний початковий радіус бульбашки для максимального розширення залежно від ультразвукової частоти й амплітуди тиску

$$R_{optimal} = \frac{1}{\sqrt{0,0327F^2 + 0,0679F + 16,5P^2}}, \quad (23)$$

де P – амплітуда тиску для ультразвукової синусоїдальної хвилі, МПа; f – частота, МГц; $R_{optimal}$ – початковий оптимальний радіус бульбашки, мкм.

Наприклад, якщо $f=1$ МГц, $P=1$ МПа, то оптимальний радіус бульбашок дорівнює 0,2454 мкм.

Розрахунок (табл. 1) охоплює діапазон частот, МГц, амплітуди тиску, МПа і радіусів, мкм, що використовуються в моделюванні [17]. Слід відзначити, що при $f=0,5$ МГц і тиску $P=8,0$ МПа початковий радіус $R=30,75$ нм.

Виконавши перетворення залежності (23), отримаємо квадратне рівняння, що включає функцію оптимальної частоти для певного розміру бульбашок

$$0,0327F^2 + 0,0679F + 16,5P^2 - \frac{1}{R_{optimal}} = 0, \quad (24)$$

звідки $F(R)$ при відомій величині тиску P можна визначити з виразу

$$F(R) = \frac{-0,0679 \pm \sqrt{0,0679^2 - 4 \cdot 0,0327 \cdot \left(6,5P^2 - \frac{1}{R}\right)}}{2 \cdot 0,0327}. \quad (25)$$

де $R_{optimal}$ – оптимальний розмір газових бульбашок, мкм; $F(R)$ – частота високоенергетичного ультразвуку, МГц.

Отже, формування кавітаційного режиму при відомому розмірі газових бульбашок $R_{optimal}$ досягається впливом на пульпу високоенергетичного ультразвуку з частотою $F(R_{optimal})$.

Позначимо через $f(R)$ функцію розподілення бульбашок за розмірами, тоді величина $f(R) dR$ визначає частку бульбашок, розміри яких знаходяться в межах від R до $R + dR$.

У табл. 2 наведено значення функції $f(R)$, які використовувалися в розрахунках.

Таблиця 2

Значення функції розподілення газових бульбашок за розмірами

$R, \text{м} \times 10^{-6}$	3	5	10	20	50
$f(R), \text{м}^{-1}$	0,0054	0,0273	0,0545	0,330	0,545
$R, \text{м} \times 10^{-4}$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$f(R), \text{м}^{-1} \times 10^{-3}$	49	21,2	10,9	6,5	4,1

Графік функції $f(R)$ наведено на рис. 1.

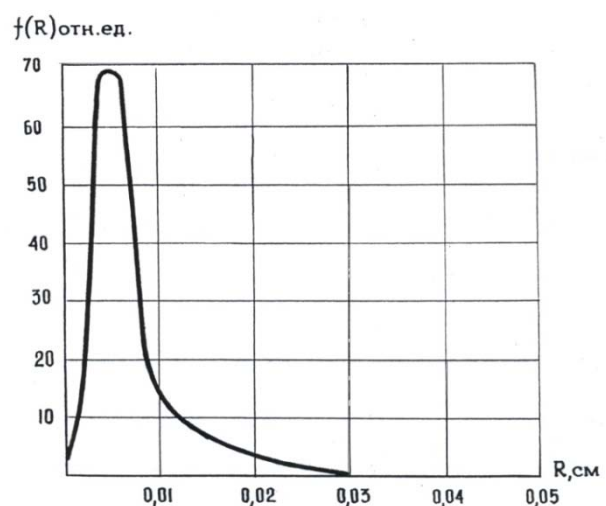


Рис. 1. Графік функції розподілення повітряних бульбашок за розмірами

Одержані залежності дозволяють визначити оптимальну частоту високоенергетичного ультразвуку для підтримання кавітаційних процесів у залі-

зородній пульпі в залежності від параметрів її складових.

Отже для формування керованих кавітаційних процесів та акустичних течій у залізородній пульпі необхідно виконати моделювання динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку у гетерогенному середовищі.

Моделювання поведінки повітряних бульбашок під дією ультразвукового випромінювання виконано з використанням спеціалізованого програмного пакету «Bubblesim» у середовищі MATLAB [19].

Динаміка розміру повітряних бульбашок у процесі моделювання визначалась на основі модифікованого рівняння Релея-Плессета [20]:

$$\ddot{a}a + \frac{3}{2}\dot{a}^2 + \frac{p_0 + p_i(t)p_L}{\rho} - \frac{a}{pc}\dot{p}_L = 0 \quad (26)$$

де a – радіус бульбашки, м; p_0 – гідростатичний тиск, Па; p_i – акустичний тиск, Па; p_L – тиск на поверхні бульбашки, Па; ρ – густина рідини, кг/м³; c – швидкість звуку, м/с.

Для визначення величини поверхневого тиску бульбашки p_L використано залежність:

$$p_L = -4\eta_L \frac{\dot{a}}{a} - (T_2 - T_1) + p_g \left(\frac{a_e}{a} \right)^{3k} \quad (27)$$

де η_L – коефіцієнт внутрішнього тертя; T_1, T_2 – натяг відповідно внутрішньої і зовнішньої стінок бульбашки; p_g – внутрішній тиск газу бульбашки, Па; k – газова константа політропного процесу.

Результати моделювання у врахуванням нелінійних ефектів високоенергетичного ультразвуку представлено на рис. 2: початковий імпульс (рис. 2, а), розсіяний імпульс: (рис. 2, б); змінення радіусу бульбашки (рис. 2, в), спектр сигналу (рис. 2, г).

У процесі дослідження значення амплітуди радіаційного тиску ультразвуку становило 0,3 МПа, водночас частота ультразвуку змінювалась: 1 МГц, 3 МГц, 5 МГц (рис. 2)

Для моделювання процесу поширення ультразвукового сигналу в рідкому середовищі в умовах зміни швидкості поширення звуку та зміни щільності використовують метод k -space першого й другого порядку, заснований на системі лінійних рівнянь першого порядку [21]. Для двовимірного середовища без втрат ці рівняння мають такий вигляд [21,22].

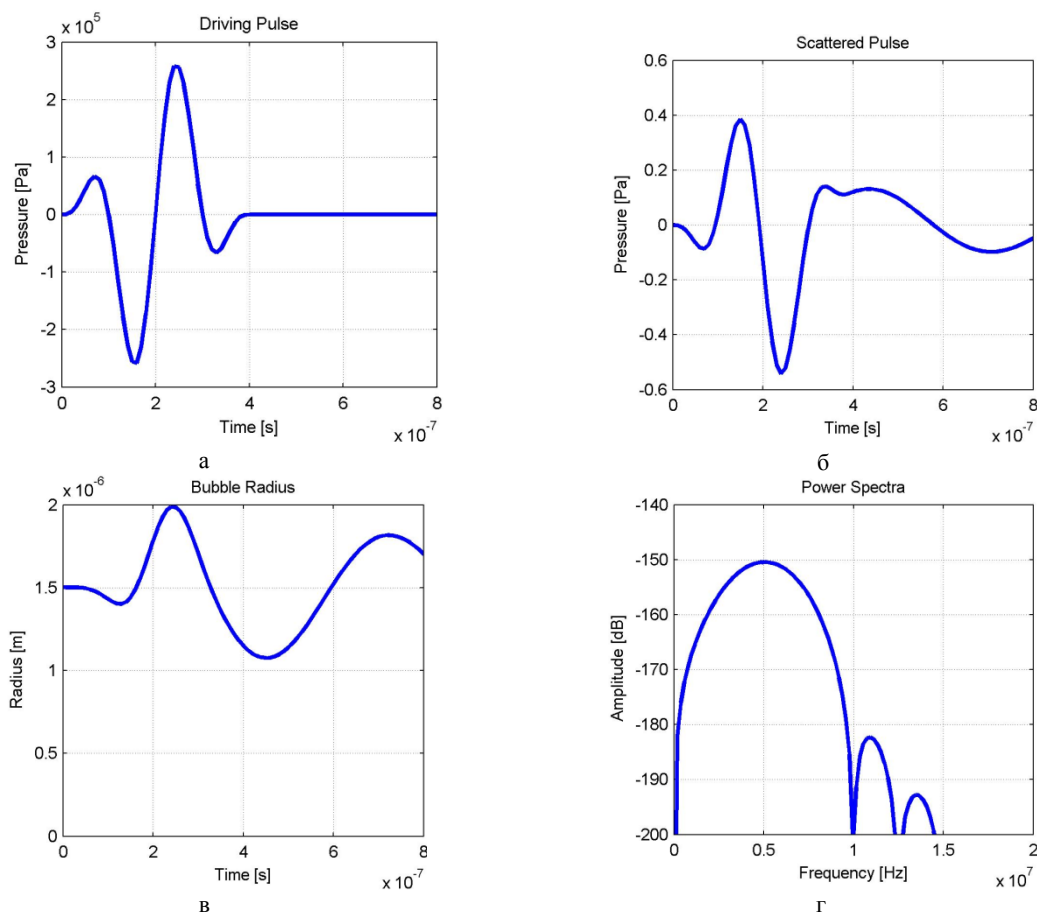


Рис. 2. Результати моделювання кавітаційних процесів при впливі високоенергетичного ультразвуку: а – початковий імпульс; б – розсіяний імпульс; в – змінення радіусу бульбашки; г – спектр сигналу

$$\begin{aligned} \rho(r) \frac{\partial u(r,t)}{\partial t} &= -\nabla p(r,t), \\ \frac{1}{\rho(r)c(r)^2} \frac{\partial p(r,t)}{\partial t} &= -\nabla u(r,t), \end{aligned} \quad (28)$$

де u – вектор коливання швидкості ультразвукової частки з компонентами u_x та u_y ; p – флуктуації ультразвукового тиску; $\rho(r)$ – густина середовища; $c(r)$ – швидкість звуку в середовищі; r – вектор координат (x, y) .

Хвильове рівняння другого порядку, яке відповідає виразу (28), має такий вигляд [21,22]

$$\nabla \left(\frac{1}{\rho(r)} \nabla p(r,t) \right) - \frac{1}{\rho(r)c(r)^2} \frac{\partial^2 p(r,t)}{\partial t^2} = 0. \quad (29)$$

Розглянемо процедуру чисельного розв'язання наведених вище рівнянь методом k -space. Для спрощення міркувань приймемо, що швидкість звуку й густина є сталими, тобто $\rho(r) = \rho_0$, $c(r) = c_0$. Загальні принципи, які покладено в основу методу k -space, надано в праці [23]. При цьому метод, який розглядається, може бути розширений до випадку гетерогенного середовища.

Цей принцип покладено в основу псевдоспектральних методів, описаних зокрема в [24], у яких просторові похідні з рівняння (28) обчислюються з використанням дискретного перетворення Фур'є й часової ітерації, що реалізуються з використанням методів Адамса-Башфорта та Адамса-Мультона четвертого порядку. Для випадку однорідної швидкості звуку і щільності рівняння (28) можна записати в просторово-частотній області таким чином

$$\frac{\partial^2 \hat{p}(k,t)}{\partial t^2} = -c_0^2 k^2 \hat{p}(k,t), \quad (30)$$

де $\hat{p}(k,t)$ – двовимірне просторове перетворення Фур'є флуктуації ультразвукового тиску $p(r,t)$.

Дискретне уявлення лівої частини рівняння (30) отримано з використанням методу кінцевих різниць другого порядку. Отже, наближений псевдоспектральний метод описується виразом

$$\begin{aligned} \frac{p(r,t+\Delta t) - 2p(r,t) + p(r,t-\Delta t))}{(\Delta t)^2} = \\ = c_0^2 F^{-1} \left(k^2 F(p(r,t)) \right) \end{aligned} \quad (31)$$

де F – оператор двовимірного просторового перетворення Фур'є. У численних реалізаціях рівняння (31) просторові похідні від правої частини рівняння (30) точно представлено з використанням дискретного перетворення Фур'є. Водночас, розглянуті псевдоспектральні методи [21,24], як правило, використовують методи часового інтегрування вищого по-

ряду, щоб зменшити помилки дисперсії. Проте, для однорідного середовища часову ітерацію може бути виконано точно, тобто без будь-якої дисперсії з використанням методу $k-t$ простору [23]

$$\frac{\hat{p}(k,t+\Delta t) - 2\hat{p}(k,t) + \hat{p}(k,t-\Delta t))}{(\Delta t)^2 \sin(c_0 \Delta t k / 2)^2 / (c_0 \Delta t k / 2)^2} = -(c_0 k)^2 \hat{p}(k,t). \quad (32)$$

Метод часової ітерації (32) математично еквівалентний методу, представленому на початку праці [21].

Як показано в праці [23], часова точність даного методу впливає з точного дискретного подання диференціального рівняння гармонійного осцилятора, описаного в праці [25]. Часову ітерацію може бути виконано в просторово-частотній області, як показано в праці [23], з використанням узагальненої форми рівняння (32). Еквівалентний ітераційний метод може бути отримано за допомогою зворотного просторового перетворення Фур'є рівняння (32). Отримана ітераційна формула має вигляд [21]

$$\begin{aligned} \frac{p(r,t+\Delta t) - 2p(r,t) + p(r,t-\Delta t))}{(\Delta t)^2} = \\ = c_0^2 F^{-1} \left(k^2 \frac{\sin(c_0 \Delta t k / 2)}{c_0 \Delta t k / 2} F(p(r,t)) \right) \end{aligned} \quad (33)$$

До правої частини рівняння (33) застосовується k -space оператор другого порядку, який має вигляд

$$\begin{aligned} (\nabla^{(c_0 \Delta t)})^2 p(r,t) \equiv \\ \equiv -F^{-1} \left(k^2 \frac{\sin(c_0 \Delta t k / 2)^2}{(c_0 \Delta t k / 2)^2} F(p(r,t)) \right), \end{aligned} \quad (34)$$

де $(c_0 \Delta t)$ – верхній індекс, який позначає, що використовуються оператори є стандартним оператором градієнта, але при цьому є функціями параметра $(c_0 \Delta t)$.

Форма рівняння (33) говорить про те, що метод k -space другого порядку можна розглядати як модифікований метод кінцевих різниць, у якому просторовий лапласіан замінюється k -space оператором. Водночас k -space оператор у рівнянні (33) включає елемент часової корекції, пов'язаний із k - t просторовим ітератором рівняння (32).

Для застосування k -space методу до системи рівнянь першого порядку, що описують поширення хвиль, може бути використаний k -space оператор другого порядку шляхом його розділення на частини, які пов'язані з кожним просторовим напрямком. Для двовимірного випадку ця процедура виконується в такий спосіб

$$\begin{aligned}
\frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^+ x} &\equiv F^{-1} \left(ik_x e^{ik_x \Delta x / 2} \frac{\sin(c_0 \Delta t k / 2)}{c_0 \Delta t k / 2} F(p(r, t)) \right); \\
\frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^+ y} &\equiv F^{-1} \left(ik_y e^{ik_y \Delta y / 2} \frac{\sin(c_0 \Delta t k / 2)}{c_0 \Delta t k / 2} F(p(r, t)) \right); \\
\frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^- x} &\equiv F^{-1} \left(ik_x e^{ik_x \Delta x / 2} \frac{\sin(c_0 \Delta t k / 2)}{c_0 \Delta t k / 2} F(p(r, t)) \right); \\
\frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^- y} &\equiv F^{-1} \left(ik_y e^{ik_y \Delta y / 2} \frac{\sin(c_0 \Delta t k / 2)}{c_0 \Delta t k / 2} F(p(r, t)) \right),
\end{aligned} \quad (35)$$

так що

$$\begin{aligned}
&\left(\frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^+ x} \frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^- x} + \frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^+ y} \frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^- y} \right) p(r, t) = \\
&= \left(\nabla^2 (c_0 \Delta t) \right)^2 p(r, t)
\end{aligned} \quad (36)$$

Просторово-частотні компоненти k_x і k_y визначено так, що $k^2 = k_x^2 + k_y^2$.

Використання операторів рівняння (35) у рівнянні (28) дозволяє сформувати k -space метод першого порядку, еквівалентний рівнянням (33). Застосування експоненціальних коефіцієнтів із рівняння (35) вимагає оцінювання швидкостей ультразвукової хвилі u_x і u_y по точках сітки з інтервалами $\Delta x / 2$ і $\Delta y / 2$ відповідно. Отриманий алгоритм має вигляд

$$\begin{aligned}
\frac{u_x(r_1, t^+) - u_x(r_1, t^-)}{\Delta t} &= \frac{1}{\rho(r_1)} \frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^+ x}; \\
\frac{u_y(r_2, t^+) - u_y(r_2, t^-)}{\Delta t} &= \frac{1}{\rho(r_2)} \frac{\partial p(r, t)}{\partial (c_0 \Delta t)^+ y}; \\
\frac{p(r, t + \Delta t) - p(r, t)}{\Delta t} &= \\
&= -\rho(r) c(r)^2 \left(\frac{\partial u_x(r_1, t^+)}{\partial (c_0 \Delta t)^- x} + \frac{\partial u_y(r_2, t^+)}{\partial (c_0 \Delta t)^- y} \right),
\end{aligned} \quad (37)$$

де

$$\begin{aligned}
r_1 &\equiv (x + \Delta x / 2, y), r_2 \equiv (x, y + \Delta y / 2), \\
t^+ &\equiv t + \Delta t / 2, t^- \equiv t - \Delta t / 2.
\end{aligned} \quad (38)$$

У рівнянні (37) коефіцієнти c_0 і ρ_0 , замінені просторово, змінюються значеннями швидкості звуку й щільності $c(r)$ і $\rho(r)$. Просторове розподілення в рівнянні (37) неявно вводиться в просторові похідні розглянутих операторів. Наприклад, оператори $\partial / \partial (c_0 \Delta t)^+ x$ і $\partial / \partial (c_0 \Delta t)^- x$, що визначаються за формулою (35), відповідають за властивість зсуву перетворення Фур'є похідним, розрахованим після просторових зрушень $\Delta x / 2$ і $-\Delta x / 2$ відповідно.

Розрахунок потужності високоенергетичного ультразвуку, що дозволяє підтримувати кавітаційні режими у залізорудній пульпі, здійснювався на основі отриманих вище результатів дослідження поширення фронту ультразвукового імпульсу за допомогою пакета HIFUSimulator v1.2 [26]. Результати розрахунку наведено на рис. 3–8.

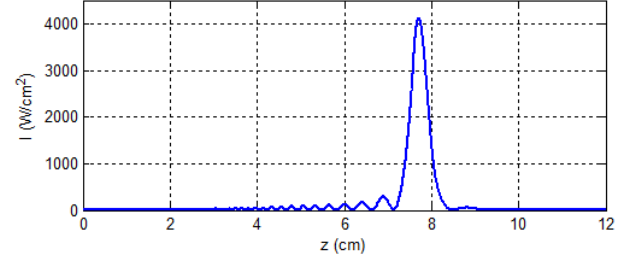


Рис. 3. Радіальна інтенсивність у фокусі ультразвукового випромінювання

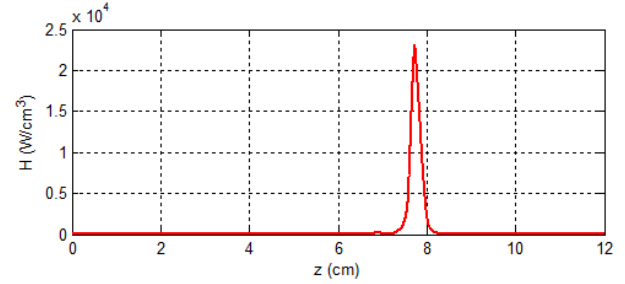


Рис. 4. Інтенсивність фокусу ультразвукового випромінювання

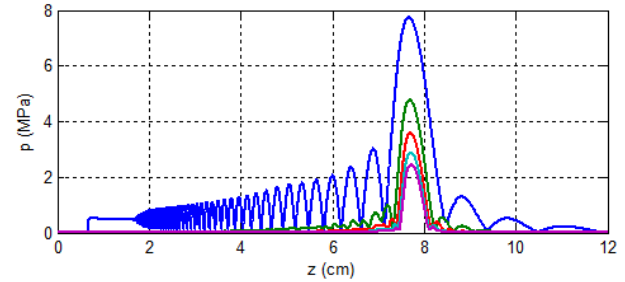


Рис. 5. Осьове розподілення тиску p п'яти перших гармонік ультразвукового випромінювання

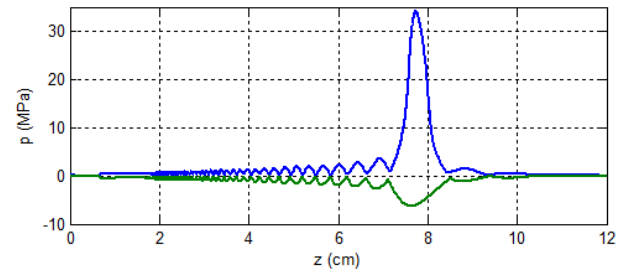


Рис. 6. Осьові піки тиску в ультразвуковому випромінюванні

Результати моделювання дозволяють зробити висновок про те, що для підвищення якості очищення часток руди перед флотацією доцільно здійсню-

вати просторовий вплив на залізородну пульпу високоенергетичного ультразвуку з частотою 20 кГц в кавітаційному режимі, модульованого високочастотними імпульсами з частотою від 1 до 5 МГц.

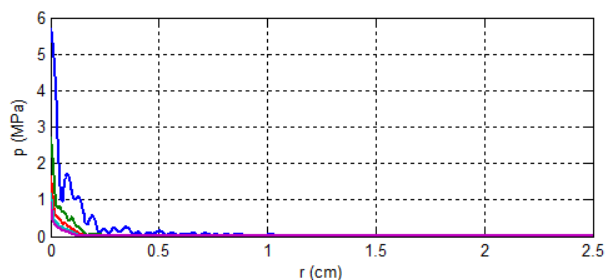


Рис. 7. Розподілення радіального тиску п'яти перших гармонік у фокусі ультразвукового випромінювання

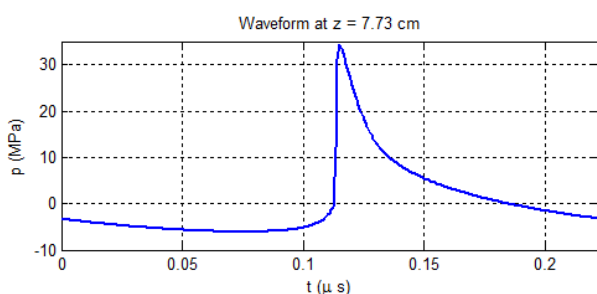


Рис. 8. Форма ультразвукової хвилі по осі випромінювання на відстані ($z=7,73$ см), що відповідає піковій інтенсивності

Водночас, до причин утворення флокул з часток магнетиту залізородної пульпи, які у процесі збагачення переміщуються відносно один одного і взаємодіють своїми полюсами, відносять рух феромагнітних часток в магнітному полі в напрямку зменшення загальної магнітостатичної енергії (енергії вільних полюсів) [27–29]. Дане явище є невід'ємною складовою процесу збагачення тонкоподіблених матеріалів з суттєвими магнітними властивостями і безпосередньо впливає на ефективність їх збагачення. Розміри флокул можуть варіюватись у діапазоні від 2 до 1000 діаметрів часток, що їх утворюють.

У праці [30] досліджено вимушені коливання монополярних доменних меж під дією ультразвукових хвиль, що поширюються вздовж них. Дане явище пояснюється тим, що ультразвук викликає в частках заліза змінні механічні напруження, що призводить до збільшення величини магнітопружної енергії U_d , яка загалом визначається з виразу

$$U_d = -\sigma \cdot \lambda, \quad (39)$$

де λ – магнітострикція; σ – напруження.

Відповідно до закону анізотропії М.С. Акулова, вираз для U_d має такий вигляд [31]

$$U_d = -\sigma \cdot \left(a_1 \sum_{i=1,2,3} \left(S_i^2 \beta_i^2 - \frac{1}{3} \right) + a_2 \sum_{i \neq j} (S_i S_j \beta_i \beta_j) \right). \quad (40)$$

Для збереження умови

$$\frac{\partial (U_k + U_d + U_n)}{\partial \alpha} = 0, \quad (41)$$

де U_k – енергія магнітної анізотропії кристала; U_n – енергія зовнішнього магнітного поля.

Відповідно до виразів (39)–(41) якщо зміниться енергія U_n , то й намагніченість часток збільшиться.

Взаємодія магнітних мас у процесі флокуляції описується відповідно до закону Кулона, що дозволяє визначити силу флокулоутворення $F_{\text{фл}}$ [27]:

$$F_{\text{фл}} = \sigma_{\text{фл}} S = k \chi^2 H^2 S^2 / (\mu_0 r^2) \quad (42)$$

де $\sigma_{\text{фл}}$ – міцність флокул, S – площа поперечного перерізу флокули, k – коефіцієнт, уточнений координату точки «зосередження магнітної маси», χ – магнітна сприйнятливості, H – напруженість магнітного поля, r – відстань взаємодії.

Міцність флокул визначається виразом [27]:

$$\sigma_{\text{фл}} = k J^2 / (1 - \chi N)^2 \quad (43)$$

де k – коефіцієнт пропорційності; J – намагніченість флокули; N – коефіцієнт розмагнічування флокули. Дану характеристику також оцінюють на основі виразу енергії феромагнетика:

$$F_{\text{фл}} = -\frac{dU}{dx} = -\frac{d(BHV)}{dx} = -0,5BHS = -0,5\mu H^2 S \quad (44)$$

$$\sigma_{\text{фл}} = 0,5\mu H^2$$

При дослідженні процесу флокулоутворення та дефлокуляції необхідно враховувати залежність величини магнітної сприйнятливості χ_c від тривалості намагнічування t . Графічне представлення залежності для водної суспензії суміші магнетиту з кварцом представлено на рис. 9 [29].

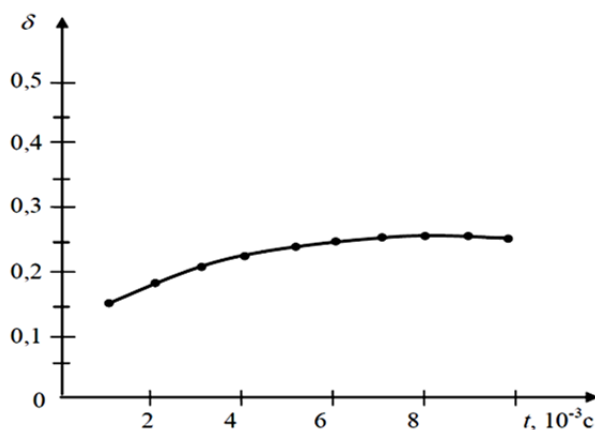


Рис. 9. Залежність магнітної сприйнятливості водної суспензії суміші магнетиту з кварцом від тривалості намагнічування

Залежність між ступенем флокуляції Ψ та напруженістю поля H має такий вигляд [27,28]:

$$\psi = k_1 H_0^2 + \Delta\psi \delta(H - H_{кр}) + (1 + \psi_2) \left(1 - \exp(-k_2 (H - H_{кр}))\right) \quad (45)$$

де H_0 - початкова напруженість магнітного поля, що викликає рівноважну оборотну флокуляцію; $\Delta\psi = \psi_1 - \psi_2$ - приріст ступеня флокуляції за рахунок лавинного процесу; ψ_1, ψ_2 - ступеня флокуляції на початку і кінці лавинного процесу відповідно, які є функціями концентрації, формфактору, розміру та магнітної сприйнятливості флокулюючих часток; $H_{кр}$ - критична напруженість поля, що викликає лавинну флокуляцію ($H_0 < H_{кр}$); k_1, k_2 - коефіцієнти інтенсивності процесу, які представлені як функції концентрації, магнітної сприйнятливості, форм-фактора, параметра Рейнольдса для гідромеханічного режиму руху середовища, розміру часток від часу $[k_2 = f(C, N, \mathfrak{R}, R_e, d, t)]$; $\delta(H - H_{кр})$ - функція Ді-

рака від напруженості; $\int_{H_{кр}-\Delta}^{H_{кр}+\Delta} \delta(H - H_{кр}) dH = 1$, де Δ

- мале число. Графічне представлення даної залежності подано на рис. 10 [29].

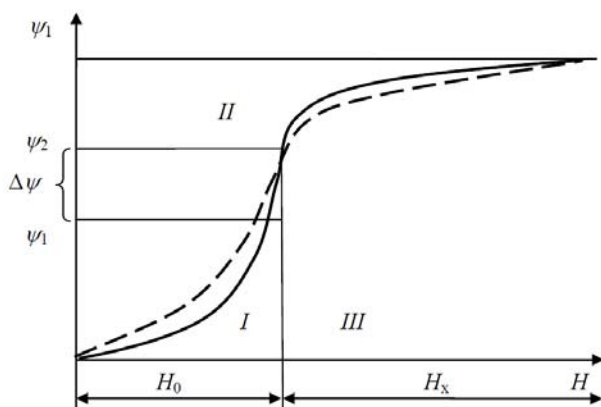


Рис. 10. Залежність ступеня флокуляції часток феромагнітного мінералу від напруженості магнітного поля:
— швидке намагнічування;
----- повільне намагнічування

Залежність величини частки матеріалу вузької фракції, вилученого у флокули (ступінь флокуляції) E , одержана у праці [28], показує істотну залежність ступеня флокуляції від вмісту феромагнітного компонента в залізорудній пульпі:

$$E = 1 - \exp \left(- \frac{R_{\phi} v_0 t}{\int_{r_0}^{R_{\phi}} \exp(-k \chi d (r_0^{-1} - r^{-1}) / (3\pi \mu D_t)) r dr} \right) \quad (46)$$

де r_0 - радіус флокули; v_0 - швидкість часток вузької фракції біля поверхні флокули; t - час флокуляції; D_t - коефіцієнт турбулентної дифузії. Слід відзначити, що зі зменшенням крупності магнітна сприйнятливості магнетика різко знижується, а коерцитивної сила також різко зростає, що пояснюється наближенням до монокристалічного розміру магнетиту, і ускладнює умови протікання флокуляції.

Аналіз результатів виконаних досліджень дозволив зробити висновок про те, що для підвищення ефективності процесу флотації шляхом дезінтеграції рудних флокулоутворень доцільно здійснювати просторовий вплив на залізорудну пульпу, який включає комбінацію високоенергетичного ультразвуку та імпульсного магнітного поля спадної напруженості.

На рис. 11 представлено результати експериментальних досліджень використання пристрою розмагнічування часток залізорудної пульпи, одержані із застосуванням ультразвукового гранулометра «Пульсар». Результати вимірювання на інтервалі 0-150 с одержано при вимкненому пристрої, результати вимірювання на інтервалі 151-300 - при увімкненому пристрої розмагнічування пульпи.

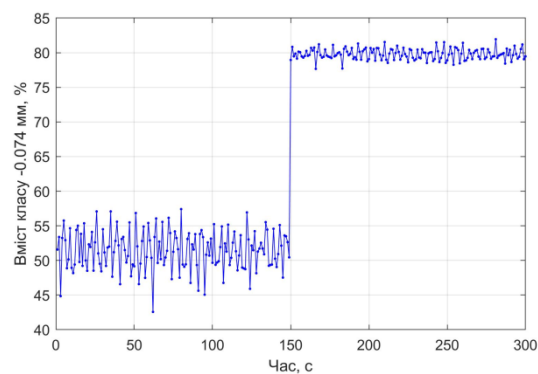


Рис. 11. Результати експериментальних досліджень використання пристрою розмагнічування часток залізорудної пульпи

Результати моделювання дозволяють зробити висновок про те, що для підвищення якості очищення часток руди перед флотацією доцільно здійснювати просторовий вплив на залізорудну пульпу, який включає комбінацію високоенергетичного ультразвуку з частотою 20 кГц в кавітаційному режимі, модульованого високочастотними імпульсами з частотою від 1 до 5 МГц та імпульсного магнітного поля спадної напруженості. Наступним етапом є розрахунок характеристик зазначених впливів та визначення параметрів пристрою для дезінтеграції рудних флокулоутворень у потоці пульпи на основі ультразвукової фазованої решітки.

Висновки. Для підвищення ефективності флотаційного доведення магнетитових концентратів шляхом дезінтеграції рудних флокулоутворень та очищення поверхні часток доцільно застосовувати нелінійні ефекти поля високоенергетичного ультразвуку для формування і підтримання у залізорудній пульпі кавітаційних процесів і акустичних течій.

На підставі дослідження закономірностей протікання кавітаційних процесів одержано залежності, які дозволяють визначити оптимальну частоту високоенергетичного ультразвуку для підтримання кавітаційних процесів у залізорудній пульпі в залежності від параметрів її складових.

На основі результатів моделювання встановлено, що для підвищення якості очищення часток руди перед флотацією доцільно здійснювати просторовий вплив на залізорудну пульпу, який включає комбінацію високоенергетичного ультразвуку з частотою 20 кГц в кавітаційному режимі, модульованого високочастотними імпульсами з частотою від 1 до 5 МГц та імпульсного магнітного поля спадної напруженості.

Література

- Gubin G. V., Tkach V. B., Ravinskaya V. O. Применение ультразвука для очистки поверхности измененных минеральных частиц перед флотацией. *Качество минерального сырья : сб. научн. трудов*. 2017. Т. 1. С. 341–349.
- Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A. The adaptive control for intensity of ultrasonic influence on iron ore pulp. *Metallurgical and Mining Industry*. 2014. Vol. 6(6), P. 8–11.
- Fornberg B. A Practical Guide to Pseudospectral Methods. Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7 (4), P. 325–329.
- Morkun V., Semerikov S., Hryshchenko S., Slovak K. Environmental geo-information technologies as a tool of pre-service mining engineer's training for sustainable development of mining industry. *CEUR Workshop Proceedings*. 2017. Vol. 1844, P. 303–310.
- Ambedkar B., Nagarajan R., Jayanti S., Investigation of high-frequency, high-intensity ultrasonics for size reduction and washing of coal in aqueous medium, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2011. Vol. 50. 13210–13219.
- Ambedkar B. Ultrasonic coal-wash for de-ashing and desulfurization: experimental investigation and mechanistic modeling, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012.
- Morkun V., Morkun N., Tron V. Distributed closed-loop control formation for technological line of iron ore raw materials beneficiation. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7(7). P. 16–19.
- Morkun V., Morkun N. Estimation of the crushed ore particles density in the pulp flow based on the dynamic effects of high-energy ultrasound. *Archives of Acoustics*. 2018. Vol. 43 (1). P. 61–67.
- Harrison C.D., Raleigh C.E., Jr., Vujnovic B.J. The use of ultrasound for cleaning coal, in: *Proceedings of the 19th Annual International Coal Preparation Exhibition and Conference*, Lexington, KY, USA, 2002, P. 61–67.
- Morkun V., Morkun N., Tron V. Model synthesis of nonlinear nonstationary dynamical systems in concentrating production using Volterra kernel transformation. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7(10), P. 6–9.
- Morkun V., Morkun N., Tron V. Distributed control of ore beneficiation interrelated processes under parametric uncertainty. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7(8). P. 18–21.
- Kozubkova M., Rautova J., Bojko M. Mathematical model of cavitation and modelling of fluid flow in cone. *Procedia Engineering*. 2012. Vol. 39. P. 9–18.
- Singhal, A. K., Li H. Y., Athavale M. M., Jiang Y. Mathematical basis and validation of the full cavitation model. *Journal of Fluids Engineering*. 2002. Vol. 124. P. 617–624.
- Zwart J., Gerber A. G., Belamri T., Two-phase flow model for predicting cavitation dynamics. *International Journal of Rotating Machinery*. 2004. Vol. 10. P. 15–25.
- Schnerr, G. H.; and Sauer, J. Physical and Numerical Modeling of Unsteady Cavitation Dynamics. In *Fourth International Conference on Multiphase Flow*, New Orleans, USA, 2001.
- Hu Zh. Comparison of Gilmore-Akulichev equation and Rayleigh-Plesset equation on the therapeutic ultrasound bubble cavitation. Graduate Theses and Dissertations. Paper 13458. 44 p.
- Carvell K. J., Bigelow T. A. Dependence of optimal seed bubble size on pressure amplitude at therapeutic pressure levels. *Ultrasonics*. 2011. Vol. 51(2). P. 115–122.
- Hoff L., Sontum P. C., Hoven J. M. Oscillations of polymeric microbubbles: Effect of the encapsulating shell. *J. Acoust. Soc. Am.* 2000. Vol. 107. P. 2272–2280.
- Hoff L. Acoustic characterization of contrast agents for medical ultrasound imaging. Dordrecht ; London: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- Tabei M., Mast T. D., Waag R. C. A k-space method for coupled first-order acoustic propagation equations. *Acoustical Society of America*. 2002. Vol. 111 (1), Pt. 1. P. 53–63.
- Pierce D., Acoustics: An Introduction to its Physical Principles and Applications, 2nd ed. *Acoustical Society of America*, Woodbury, NY, 1989.
- Mast T. D., Souriau L. P., Liu D.-L., Tabei M., Nachman A. I., Waag R. C. A k-space method for large-scale models of wave propagation in tissue. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*. 2001. Vol. 48. P. 341–354.
- Wojcik G., Fornberg B., Waag R., Carcione L., Mould J., Nikodym L., Driscoll T. Pseudospectral methods for large-scale bioacoustic models. *Proc. IEEE Ultrason. Symp.* 1997. Vol. 2. P. 1501–1506.
- Mickens R. A. Nonstandard finite difference models of differential equations. World Scientific, Singapore, 1994.
- Soneson J. HIFU Simulator v1.2. URL: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/30886-high-intensity-focused-ultrasound-simulator>.
- Кармазин В.И., Кармазин В.В. Магнитные методы обогащения. М.: Недра, 1984. 416 с.
- Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. М.: Издательство МГТУ, 2005. 426 с.
- Сотнікова Т. Г. Оптиміальне керування процесом подібнення залізних руд в умовах невизначеності : дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / Т. Г. Сотнікова. – Севе́ро-донецьк, 2016. 190 с.
- Власко-Власов В. К., Тихомиров О. А. Коливання монополярних доменних стінок в полі ультразвукової хвилі. *Фізика твердого тіла*. 1991. Том 33, №12. С. 3498–3501.
- Акулов Н. С. Ферромагнетизм. М.: Гостехтеоретиздат, 1939. 188 с.

References

- Gubin G. V., Tkach V. V., Ravinskaya V. O. Primeneniye ultrazvuka dlya ochistki poverkhnosti izmenennykh mineralnykh chastits pered flotatsiyey. *Kachestvo mineralnogo syr'ya : sb. nauchn. trudov*. 2017. T. 1. S. 341–349.

2. Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A. The adaptive control for intensity of ultrasonic influence on iron ore pulp. *Metallurgical and Mining Industry*. 2014. Vol. 6(6), P. 8-11.
3. Fornberg B. A Practical Guide to Pseudospectral Methods. Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
4. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7 (4), P. 325-329.
5. Morkun V., Semerikov S., Hryshchenko S., Slovak K. Environmental geo-information technologies as a tool of pre-service mining engineer's training for sustainable development of mining industry. *CEUR Workshop Proceedings*. 2017. Vol. 1844, P. 303-310.
6. Ambedkar B., Nagarajan R., Jayanti S., Investigation of high-frequency, high-in- tensity ultrasonics for size reduction and washing of coal in aqueous medium, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2011. Vol. 50. 13210–13219.
7. Ambedkar B. Ultrasonic coal-wash for de-ashing and desulfurization: experimental investigation and mechanistic modeling, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012.
8. Morkun V., Morkun N., Tron V. Distributed closed-loop control formation for technological line of iron ore raw materials beneficiation. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7(7). P. 16-19.
9. Morkun V., Morkun N. Estimation of the crushed ore particles density in the pulp flow based on the dynamic effects of high-energy ultrasound. *Archives of Acoustics*. 2018. Vol. 43 (1). P. 61-67.
10. Harrison C.D., Raleigh C.E., Jr., Vujnovic B.J. The use of ultrasound for cleaning coal, in: *Proceedings of the 19th Annual International Coal Preparation Exhibition and Conference*, Lexington, KY, USA, 2002, P. 61–67.
11. Morkun V., Morkun N., Tron V. Model synthesis of nonlinear nonstationary dynamical systems in concentrating production using Volterra kernel transformation. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7(10), P. 6-9.
12. Morkun V., Morkun N., Tron V. Distributed control of ore beneficiation interrelated processes under parametric uncertainty. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7(8). P. 18-21.
13. Kozubkova M., Rautova J., Bojko M. Mathematical model of cavitation and modelling of fluid flow in cone. *Procedia Engineering*. 2012. Vol. 39. P. 9–18.
14. Singhal, A. K., Li H. Y., Athavale M. M., Jiang Y. Mathematical basis and validation of the full cavitation model. *Journal of Fluids Engineering*. 2002. Vol. 124. P. 617-624
15. Zwart J., Gerber A. G., Belamri T., Two-phase flow model for predicting cavitation dynamics. *International Journal of Rotating Machinery*. 2004. Vol. 10. P. 15–25.
16. Schnerr, G. H.; and Sauer, J. Physical and Numerical Modeling of Unsteady Cavitation Dynamics. In Fourth International Conference on Multiphase Flow, New Orleans, USA, 2001.
17. Hu Zh. Comparison of Gilmore-Akulichev equation and Rayleigh-Plesset equation on the rapeutic ultrasound bubble cavitation. Graduate Theses and Dissertations. Paper 13458. 44 p.
18. Carvell K. J., Bigelow T. A. Dependence of optimal seed bubble size on pressure amplitude at therapeutic pressure levels. *Ultrasonics*. 2011. Vol. 51(2). P. 115-122.
19. Hoff L., Sontum P. C., Hovem J. M. Oscillations of polymeric microbubbles: Effect of the encapsulating shell. *J. Acoust. Soc. Am.* 2000. Vol. 107. P. 2272-2280.
20. Hoff L. Acoustic characterization of contrast agents for medical ultrasound imaging. Dordrecht ; London: Kluwer Academic Publishers, 2001.
21. Tabei M., Mast T. D., Waag R. C. A k-space method for coupled first-order acoustic propagation equations. *Acoustical Society of America*. 2002. Vol. 111 (1), Pt. 1. P. 53-63.
22. Pierce D., Acoustics: An Introduction to its Physical Principles and Applications, 2nd ed. *Acoustical Society of America*, Woodbury, NY, 1989.
23. Mast T. D., Souriau L. P., Liu D.-L., Tabei M., Nachman A. I., Waag R. C. A k-space method for large-scale models of wave propagation in tissue. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*. 2001. Vol. 48. P. 341–354.
24. Wojcik G., Fornberg B., Waag R., Carcione L., Mould J., Nikodym L., Driscoll T. Pseudospectral methods for large-scale bioacoustic models. *Proc. IEEE Ultrason. Symp.* 1997. Vol. 2. P. 1501–1506.
25. Mickens R. A. Nonstandard finite difference models of differential equations. World Scientific, Singapore, 1994.
26. Soneson J. HIFU Simulator v1.2. URL: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/30886-high-intensity-focused-ultrasound-simulator>.
27. Karmazin V.I., Karmazin V.V. Magnitnyye metody obogashcheniya. M.: Nedra, 1984. 416 s.
28. Karmazin V.V., Karmazin V.I. Magnitnyye, elektricheskiye i spetsialnyye metody obogashcheniya poleznykh iskopayemykh. M.: Izdatel'stvo MGTU, 2005. 426 s.
29. Sotnikova T. H. Optymalne keruvannya protsesom podribnennya zaliznykh rud v umovakh nevyznachenosti : dys. kand. tekhn. nauk : 05.13.07 / T. H. Sotnikova. – Severodonetsk, 2016. 190 s.
30. Vlasko-Vlasov V. K., Tykhomyrov O. A. Kolyvannya monopolyarnykh domennykh stinok v poli ul'trazvukovoyi khvyli. *Fizyka tverdogo tila*. 1991. Tom 33, №12. S. 3498–3501.
31. Akulov N. S. Ferromahnetyzm. M.: Hostekhteor-tyzdat, 1939. 188 s.

Morkun V.S., Morkun N.V., Tron V.V., Serdiuk O. Y., Haponenko I. A., Haponenko A. A. Preliminary treatment of pulp by ultrasound for cleaning of ore grains and disintegration of flocculation formations based on the effects of cavitation

The research is aimed to increase the quality of processing of magnetite concentrates in flotation technological process by disintegration of ore flocculations and cleaning the surface of ore particles Applying nonlinear effects of the high-energy ultrasound field on ore particles was proposed and the peculiarities of the formation of cavitation regimes in iron ore pulp for disintegration of ore flocculations and cleaning of the surface of ore particles were investigated. The parameters of ultrasonic influence for the formation and maintenance of cavitation processes and acoustic flows in the iron ore pulp are calculated in the basis of the generalized model of the dynamics of air bubbles, presented in the form of the Rayleigh-Plesset equation.

Depending on the parameters of iron ore pulp components the optimal frequency of high-energy ultrasound to maintain cavitation processes was determined on the basis of the obtained laws of cavitation processes. Mathematical model of the process of ultrasonic signal propagation in liquid medium under conditions of changes in the speed of sound propagation and density changes was synthesized on the basis of the k-space method of the first and second order as a system of linear equations of the first order. The calculation of the

power of high-energy ultrasound, which allows to maintain cavitation regimes in the iron ore pulp, was carried out on the basis of the results of the study of the propagation of the ultrasonic pulse front using computer simulations. Based on the simulation results, it was found that to improve the quality of cleaning ore particles before flotation, it is advisable to exert a spatial effect on iron ore pulp, which includes a combination of high-energy ultrasound with a specific frequency in cavitation mode modulated by high-frequency pulses and a pulsed magnetic field of decreasing voltage. In the study of the process of flocculation and deflocculation, the dependence of the value of the magnetic susceptibility of ore particles on the duration of magnetization was taken into account. The results of experimental studies of the device for demagnetization of iron ore pulp particles usage, obtained using an ultrasonic granulometer "Pulsar".

Keywords: *ultrasound, cavitation, iron ore pulp, disintegration, flocculation*

Моркун Володимир Станіславович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Криворізький національний університет, morkunv@knu.edu.ua

Моркун Наталя Володимирівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій, Криворізький національний університет, nmorkun@knu.edu.ua

Тронь Віталій Валерійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій, Криворізький національний університет, vtron@knu.edu.ua

Сердюк Олександра Юріївна – асистент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій, Криворізький національний університет, serdiuk@knu.edu.ua

Гапоненко Ірина Анатоліївна – кандидат технічних наук, науковий співробітник, Криворізький національний університет, haponenko@protonmail.com

Гапоненко Альона Анатоліївна – науковий співробітник, Криворізький національний університет, a.haponenko@protonmail.com

Стаття подана 23.12.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-36-40>

УДК 66.011:661.525

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНИМ МЕТОДОМ

Проказа О.І., Кузнецова О.В.

CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODELS OF EVAPORATION PLANT BY EXPERIMENTAL-STATISTICAL METHOD

Prokaza O.I., Kuznetsova O.V.

Для вирішення задач оптимального управління процесом упарювання у виробництві аміачної селітри необхідно мати математичний опис технологічних процесів, які протікають в окремих випарних апаратах. Кінцевою метою дослідження є отримання адекватної математичної моделі процесу випарювання і знаходження оптимального технологічного режиму.

Досліджувалась випарна установка, до якої входить випарний апарат з сепаратором для випарювання свіжого розчину аміачної селітри і доупарюючий апарат з падаючою плівкою. Аналіз випарної установки як об'єкта керування дозволив визначити вхідні і вихідні параметри, які характеризують особливості процесу упарювання у різних випарних апаратах. На підставі проведеного аналізу встановлена необхідність розробки моделей для кожного випарного апарату.

Для отримання експериментально-статистичних моделей випарної установки був зібраний статистичний матеріал з реального об'єкту управління. Обробка даних проводилась методами кореляційного і регресійного аналізу.

На підставі отриманих експериментальних даних проведений багатofакторний кореляційно-регресійний аналіз для отримання якнайкращих залежностей для оцінки вихідних величин випарних апаратів. Для параметрів, статистичний опис яких гарантує задану надійність, виконаний однофакторний регресійний аналіз. Окрім лінійних моделей аналізувались експоненціальні, гіперболічні, логарифмічні моделі.

За підсумками дослідження, встановлено, що не всі дані вхідні параметри мають сильну кореляцію з вихідними параметрами, враховуючи вибраний рівень надійності моделі. Таким чином, частина інформації, отриманої експериментально, виявилася недоступною для аналізу класичними статистичними методами.

В результаті порівняння критеріїв адекватності моделей на різних етапах дослідження отримані моделі з високими показниками критеріїв адекватності. При перевірці адекватності отриманих моделей для всіх залежностей відносна похибка результатів не перевищила 2%, що підтверджує значущість отриманих моделей і можливість їх застосування для прогнозування управління.

Ключові слова: математична модель, випарний апарат, аміачна селітра, критерій адекватності.

Вступ. Математичне моделювання є ефективним інструментом визначення оптимальних керуючих параметрів, особливо у разі процесів, фізичні та хімічні закономірності яких достатньо вивчені. Тому важливим етапом математичного моделювання є створення математичної моделі, яка адекватно описувала аналізований процес. Зазвичай створюються математичні моделі окремих апаратів, які базуються на моделях процесів, що протікають у цих апаратах, а потім моделюються технологічні схеми, що пов'язують апарати в єдиний технологічний процес. Залежно від складності самого процесу та можливостей отримання експериментальної інформації про його проходження, при розробці математичних моделей використовується детермінований підхід, в основі якого лежать фундаментальні закони, або емпіричний, в основі якого лежить статистична обробка експериментальної інформації.

У тих випадках, коли інформації про аналізований процес недостатньо або він настільки складний, що неможливо скласти його детерміновану модель, а також є можливість його експериментального дослідження, вдаються до експериментально-статистичних методів [1].

Традиційним методом при складанні таких моделей є пасивний експеримент, відповідно до якого ставиться велика серія дослідів з почерговим варіюванням кожної зі змінних. До пасивного експерименту відноситься також збір вихідного статистичного матеріалу в режимі нормальної експлуатації на промисловому об'єкті. У цьому випадку обробка дослідних даних для одержання математичної моделі здійснюється методами класичного регресійного і кореляційного аналізу.

Експериментально-статистичні методи широко застосовуються для побудови математичних моделей

у хімічній промисловості. Зокрема на Новомосковському хімічному комбінаті для оцінки якості аміачної селітри в процесі грануляції був реалізований повний факторний експеримент [2], а застосування методу активного експерименту для отримання математичного опису виробництва карбаміду [3] дозволило отримати адекватну модель, що описує діюче виробництво. Для опису процесу нейтралізації у виробництві аміачної селітри на Северодонецькому виробничому об'єднанні «Азот» були запропоновані експериментально-статистичні моделі [4]. Водночас слід зазначити, що літературний пошук для моделювання процесу випарювання аміачної селітри не дав суттєвих результатів.

Метою роботи є побудова математичної моделі для технологічного процесу упарювання аміачної селітри на Северодонецькому виробничому об'єднанні «Азот». Процес упарювання розчину аміачної селітри є двостадійним на даному підприємстві. Випарна установка складається з двох плівкових випарних апаратів: випарного апарату з піднімаючою плівкою з сепаратором 2 і випарного апарату з падаючою плівкою 5, призначеного для доупарювання аміачної селітри до практично безводного плаву (рис. 1). Відмітною особливістю цих апаратів є упарювання розчинів в тонкій плівці (шарі), яка рухається зі швидкістю 25 м/сек уздовж внутрішньої поверхні трубок. У випарному апараті з сепаратором перша стадія упарювання здійснюється під вакуумом. У випарному апараті з падаючою плівкою процес доупарювання йде в дві стадії [5]. У середній кожухотрубній частині апарату відбувається упарювання розчину приблизно до 99 % аміачної селітри за рахунок поєднання процесів масо- і теплообміну. У нижній тарілчастій частині апарату на провальних тарілках шляхом масообміну з гарячим повітрям відбувається обезводнення плаву до 99,7-99,8 %.

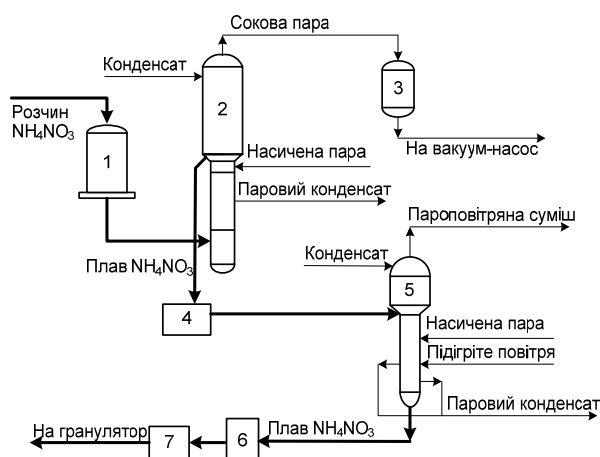


Рис. 1. Спрощена схема процесу випарювання аміачної селітри:

- 1 – напірний бак; 2 – випарний апарат з сепаратором;
- 3 – поверхневий конденсатор; 4 – гідрозатвердонецький нейтралізатор; 5 – випарний апарат з падаючою плівкою; 6 – нейтралізатор плаву; 7 – бак-фільтр

Аналіз випарної установки як об'єкта управління дозволив визначити вхідні і вихідні параметри, які характеризують особливості процесу випарювання у різних випарних апаратах [6].

Вхідними параметрами для випарного апарату першої стадії упарювання є: концентрація, витрата і температура свіжого розчину аміачної селітри; витрата і температура теплоносія (насиченої пари). Температура і концентрація свіжого розчину аміачної селітри, а також температура насиченої пари визначаються попередніми стадіями. Для аналізованої стадії вони є збурюючими впливами. Змінні, за допомогою яких можна впливати на об'єкт з метою управління, становлять вектор регулюючих величин. У даному апараті це витрати свіжого розчину аміачної селітри та насиченої пари. Вихідними величинами є: концентрація упареного розчину аміачної селітри, температура упареного розчину аміачної селітри і тиск у апараті.

На стадії доупарювання вхідними параметрами є: концентрація і температура упареного розчину аміачної селітри; витрата і температура насиченої пари; витрата і температура гарячого повітря. Вихідними величинами є: концентрація і температура плаву аміачної селітри.

На підставі проведеного аналізу випарної установки, а також враховуючі конструктивні особливості апаратів, встановлена необхідність розробки моделей для кожного випарного апарату.

Для отримання експериментально-статистичних моделей був зібраний статистичний матеріал в режимі нормальної експлуатації на реальному промисловому об'єкті. У ході роботи аналізувалися результати 96 вимірювань за 16 параметрами.

На основі отриманих експериментальних даних ставилися наступні задачі:

1. Провести багатофакторний кореляційно-регресійний аналіз для отримання найкращих залежностей для оцінки вихідних величин для випарних апаратів.

2. Для параметрів, статистичний опис яких гарантує надану надійність, виконати однофакторний регресійний аналіз.

Для проведення моделювання було прийнято такі позначення:

— для вхідних змінних та параметрів стану моделі випарного апарату з сепаратором:

X_1 – температура свіжого розчину аміачної селітри, °C,

X_2 – температура насиченої пари, °C,

X_3 – витрата насиченої пари, м³/год °C,

X_4 – концентрація свіжого розчину аміачної селітри, %, X_5 – витрата свіжого розчину аміачної селітри, м³/год;

— для вихідних змінних моделі випарного апарату з сепаратором:

Y_1 – концентрація упареної аміачної селітри на виході з випарного апарату, %, Y_2 – температура упареної аміачної селітри, °C,

Y_3 – температура свіжого розчину аміачної селітри, °C, Y_4 – температура упареної аміачної селітри, °C, Y_5 – температура свіжого розчину аміачної селітри, °C, Y_6 – температура упареної аміачної селітри, °C, Y_7 – температура свіжого розчину аміачної селітри, °C, Y_8 – температура упареної аміачної селітри, °C, Y_9 – температура свіжого розчину аміачної селітри, °C, Y_{10} – температура упареної аміачної селітри, °C, Y_{11} – температура свіжого розчину аміачної селітри, °C, Y_{12} – температура упареної аміачної селітри, °C, Y_{13} – температура свіжого розчину аміачної селітри, °C, Y_{14} – температура упареної аміачної селітри, °C, Y_{15} – температура свіжого розчину аміачної селітри, °C, Y_{16} – температура упареної аміачної селітри, °C.

Y_3 – тиск сокової пари на виході з випарного апарату, МПа;

– для вхідних змінних моделі випарного апарату з падаючою плівкою:

X_1 – температура упареної аміачної селітри, °С,

X_2 – концентрація упареної аміачної селітри, %,

X_3 – температура насиченої пари, °С,

X_4 – витрата насиченої пари, м³/год,

X_5 – температура гарячого повітря, °С,

X_6 – витрата гарячого повітря, м³/год;

– для вихідних змінних моделі випарного апарату з падаючою плівкою:

Y_1 – концентрація плаву аміачної селітри на виході з випарного апарату, %,

Y_2 – температура плаву аміачної селітри, °С.

Надійність моделей та їх параметрів у більшості випадків приймається лише на рівні 95% (рівень значущості $\alpha=5\%$):

$$\mu = \frac{|r_{yx}| \sqrt{n-1}}{\sqrt{1-r_{yx}^2}},$$

де r_{yx} – парний коефіцієнт кореляції; n – кількість спостережень.

Фактори, для яких $\mu < 2$, не відповідають обраному рівню надійності і в подальшому регресійному аналізі не розглядаються.

Були прийняті наступні критерії адекватності моделей: R^2 – коефіцієнт детермінації, R – коефіцієнт кореляції, $\sigma_{ад}^2$ – дисперсія адекватності.

Виклад основного матеріалу дослідження. На першому етапі було отримано результати для обох випарних апаратів. Обробка даних проводилася за допомогою пакету Excel [7]. Необхідно було визначити фактори, що включаються в кожну модель. Для цього розраховувалися кореляційні матриці.

В результаті проведеного аналізу були вибрані фактори з показником надійності вище 2:

– для моделі випарного апарату з сепаратором:

X_1 (температура свіжого розчину аміачної селітри), X_2 (температура насиченої пари), X_3 (витрата насиченої пари) для прогнозу значення Y (температури упареної аміачної селітри на виході з випарного апарату);

– для моделі випарного апарату з падаючою плівкою: X_1 (температура аміачної селітри на вході у випарний апарат) і X_5 (температура гарячого повітря) для Y (температури плаву аміачної селітри на виході з випарного апарату).

Окрім аналізу лінійної залежності розглянуті засновані на логарифмуванні і зворотному перетворенні шість можливих криволінійних залежностей, отриманих комбінацією з індивідуальних перетворень залежної змінної і незалежних змінних: степеневі, експоненціальна, гіперболічна модель I і II типу, логарифмічна і S – образна моделі. Перелічені моделі будувалися на першій половині набору експериментальних даних. Перевірка адекватності отриманих моделей і їх відносної похибки проводилася на другій половині вибірки.

Отримані моделі для випарного апарату з сепаратором приведені в таблиці 1.

В таблиці 2 приведені отримані моделі для випарного апарату з падаючою плівкою.

Таблиця 1

Моделі випарного апарату з сепаратором

Тип моделі	Модель
Лінійна	$Y = 0,19X_1 - 0,03X_2 + 45,3X_3 + 104,99$
Степенева	$Y = 101,07X_1^{0,15}X_2^{-0,04}X_3^{0,25}$
Експоненціальна	$Y = 114,82e^{0,001X_1 - 0,0002X_2 + 0,27X_3}$
Гіперболічна I	$Y = -\frac{3235,43}{X_1} - \frac{1423,02}{X_2} - \frac{36,52}{X_3} + 222,35$
Гіперболічна II	$Y = \frac{1}{-6,73 \cdot 10^{-6}X_1 + 1,05 \cdot 10^{-6}X_2 - 0,002X_3 + 0,01}$
S-образна	$Y = e^{\frac{19,41}{X_1} + \frac{8,33}{X_2} + \frac{0,22}{X_3} + 5,45}$
Логарифмічна	$Y = 24,64\ln(X_1) - 6,82\ln(X_2) + 40,78\ln(X_3) + 84,34$

Таблиця 2

Моделі випарного апарату з падаючою плівкою

Тип моделі	Модель
Лінійна	$Y = 0,23X_1 + 0,63X_2 + 25,63$
Степенева	$Y = 2,15X_1^{0,22}X_2^{0,64}$
Експоненціальна	$Y = 75,94e^{0,001X_1 + 0,004X_2}$
Гіперболічна I	$Y = -\frac{6447,08}{X_1} - \frac{20480,43}{X_2} + 331,5$
Гіперболічна II	$Y = \frac{1}{-7,34 \cdot 10^{-6}X_1 - 1,98 \cdot 10^{-5}X_2 + 0,01}$
S-образна	$Y = e^{\frac{36,04}{X_1} + \frac{114,5}{X_2} + 6,04}$
Логарифмічна	$Y = 38,92\ln(X_1) + 114,01\ln(X_2) - 612,13$

На другому етапі досліджень, виходячи з висновків, отриманих на попередньому етапі, були знайдені параметри, статистичний опис яких гарантує обрану надійність моделі. Для цих параметрів був виконаний однофакторний регресійний аналіз та отримані результати.

Результати однофакторного аналізу залежностей представлені у таблицях 3 і 4.

Таблиця 3

Результати однофакторного аналізу залежностей випарного апарату з сепаратором

Тип моделі	Показники адекватності і відносної похибки			
	R^2	R	$\sigma_{ад}^2$	$\varepsilon, \%$
Лінійна	0,9396	0,9693	1,263	0,55
Степенева	0,9427	0,9709	1,082	0,51
Експоненціальна	0,9397	0,9694	1,725	0,59
Гіперболічна I	0,9434	0,9712	1,072	0,48
Гіперболічна II	0,9398	0,9694	5,879	1,29
S-образна	0,9439	0,9715	1,049	0,48
Логарифмічна	0,9424	0,9715	1,069	0,51

Таблиця 4

**Результати однофакторного аналізу залежностей
випарного апарату з падаючою плівкою**

Тип моделі	Показники адекватності і відносної похибки			
	R ²	R	σ_{ad}^2	ε , %
Лінійна	0,7804	0,8834	0,173	0,19
Степенева	0,7803	0,8833	0,175	0,19
Експоненціальна	0,7807	0,8836	3,691	1,05
Гіперболічна I	0,7795	0,8829	0,169	0,19
Гіперболічна II	0,7809	0,8837	0,480	0,33
S-образна	0,7798	0,8831	0,171	0,19
Логарифмічна	0,7800	0,8832	0,171	0,19

Висновки. Процес випарювання є складним процесом і залежить від багатьох технологічних параметрів. Тому на основі отриманих експериментальних даних був проведений багатофакторний кореляційно-регресійний аналіз для отримання якнайкращих залежностей для оцінки вихідних величин випарних апаратів. Для параметрів, статистичний опис яких відповідав наданій надійності, був виконаний однофакторний регресійний аналіз.

За підсумками проведеного дослідження встановлено, що не всі вхідні параметри, що розглядаються, мають сильну кореляцію з вихідними параметрами, враховуючи обраний рівень надійності моделі. Отже, частина інформації, отриманої експериментально, виявилася недоступною для аналізу класичними статистичними методами.

В результаті дослідження залежності температури плаву аміачної селітри від вхідних параметрів можна зробити висновок, що моделі, відповідні випарним апаратам, різні за типом отриманих співвідношень і наявністю факторів, які впливають на вихідний параметр, що говорить про неможливість застосування єдиної моделі для різних апаратів.

За підсумками оцінки надійності і значущості отриманих моделей, можна зробити висновок: чим більше факторів, визнаних значущими, беруть участь в моделі, тим вище значущість критеріїв адекватності. Недостатньо значущі показники для оцінки адекватності моделей можуть бути пояснені наявністю в досліджуваному процесі неврахованих факторів і випадкових збурень, які не увійшли до рівня регресії.

Значущість коефіцієнтів детермінації і кореляції практично однакова і свідчить про достатньо сильний зв'язок параметрів моделі і адекватності моделі.

В результаті порівняння критеріїв адекватності моделей на різних етапах дослідження були вибрані моделі з найбільш високими показниками критеріїв адекватності.

Для випарного апарату з сепаратором:

– для залежності температури плаву аміачної селітри на виході з випарного апарату з сепаратором від температури початкового розчину аміачної селітри (X_1), температури насиченої пари (X_2), витрати насиченої пари (X_3), отримана S-образна модель:

$$y = \exp\left(\sum_{i=1}^3 \frac{k_i}{Z_i} + 5,45\right),$$

де $Z_1=X_1$, $Z_2=X_2$, $Z_3=X_3$, $k_1=-19,41$, $k_2=8,33$, $k_3=-0,22$.

Для другого випарного апарату з падаючою плівкою:

– для залежності температури плаву аміачної селітри на виході з випарного апарату з падаючою плівкою від температура аміачної селітри на його вході (X_1) і температурах гарячого повітря (X_5) отримана гіперболічна модель II типу:

$$y = \frac{10^5}{\sum_{i=1}^2 k_i Z_i + 1040},$$

де $Z_1=X_1$, $Z_2=X_5$, $k_1=-73,41$, $k_2=-1,98$.

При перевірці адекватності отриманих моделей на інших експериментально-статистичних даних, для всіх залежностей відносна похибка результатів не перевищила 1,3%, що підтверджує значущість одержаних моделей та можливість їх застосування для прогнозування керування.

Необхідно відзначити, що отриманий експериментально-статистичними методами математичний опис об'єкта неможливо застосувати до інших однотипних об'єктів. Тому в процесі управління модель, на основі якої забезпечується оптимальне керування об'єктом, необхідно будувати або уточнювати для кожного апарату з використанням як статистичних даних, так і іншої інформації. Особливо це стосується таких складних апаратів, як випарний апарат стадії доупарювання у виробництві аміачної селітри, який конструктивно є комбінованим апаратом і в якому поєднані процеси масо- і теплообміну.

Виходячи з цього, потрібно підібрати такий тип моделі об'єкта, який дозволив би враховувати неконтрольовані збурення, інтервальний характер завдання багатьох параметрів та інформацію про особливості процесу упарювання в конкретному випарному апараті. Прикладом таких моделей можуть бути комбіновані моделі з елементами нечіткої логіки.

Л і т е р а т у р а

1. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1985. – 448 с.
2. Вольберг А.А. Планирование промышленного эксперимента в цехе аммиачной селитры / А.А. Вольберг, С.Г. Широков, Ю.П. Адлер // Химическая промышленность. – 1986. – С. 33–40.
3. Кондратьев В.В. Применение метода активного эксперимента для получения математического описания производства карбамида / В.В. Кондратьев, Р.Я. Шебапольская // Азотная промышленность, 1983. – №3. – С. 65–72.
4. Поркуян О.В. Экспериментально-статистические модели нейтрализации в производстве аммиачной селитры / О.В. Поркуян, Е.И. Проказа // Науковий збірник

«Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2010. – №2 (6). – С. 99–104.

5. Иванов М.Е. Производство аммиачной селитры в агрегатах большой единичной мощности / М.Е. Иванов, В.М. Олевский, Н.Н. Поляков. – М.: Химия, 1990. – 228 с.
6. Стенцель Й.І. Математичне моделювання технологічних об'єктів керування / Й.І. Стенцель. – К.: ІСДО. 1993. – 328 с.
7. Кильдишов В. Д. Использование приложения MS Excel для моделирования различных задач: Практическое руководство / В.Д. Кильдишов. – М.: СОЛОН-Пр., 2015. – 156 с.

References

1. Kafarov V.V. Metody kibernetiki v khimii i khimicheskoy tekhnologii / V.V. Kafarov. – М.: Khimiya, 1985. – 448 s.
2. Vol'berg A.A. Planirovaniye promyshlennogo eksperimenta v tsekhe ammiachnoy selitry / A.A. Vol'berg, S.G. Shirokov, YU.P. Adler // Khimicheskaya promyshlennost'. – 1986. – S. 33–40.
3. Kondrat'yev V.V. Primeneniye metoda aktivnogo eksperimenta dlya polucheniya matematicheskogo opisaniya proizvodstva karbamida / V.V. Kondrat'yev, R.YA. Shebakpol'skaya // Azotnaya promyshlennost', 1983. – №3. – S. 65–72.
4. Porkuyan O.V. Eksperimental'no-statisticheskiye modeli neytralizatsii v proizvodstve ammiachnoy selitry / O.V. Porkuyan, Ye.I. Prokaza // Naukoviy zбірnik «Vіsник natsional'nogo tekhnichnogo unіversitetu Ukraїni «Kiїvs'kiy polіtekhnichniy institut». – 2010. – №2 (6). – S. 99–104.
5. Ivanov M.Ye. Proizvodstvo ammiachnoy selitry v agregatakh bol'shoy yedinichnoy moshchnosti / M.Ye. Ivanov, V.M. Olevskiy, N.N. Polyakov. – М.: Khimiya, 1990. – 228 s.
6. Stentsel' Y.І. Matematichne modelyuvannya tekhnologichnikh ob'ektiv keruvannya / Y.І. Stentsel'. – К.: ІСДО. 1993. – 328 с.
7. Kil'dishov V. D. Ispol'zovaniye prilozheniya MS Excel dlya modelirovaniya razlichnykh zadach: Prakticheskoye rukovodstvo / V.D. Kil'dishov. – М.: SOLON-Pr., 2015. – 156 s.

Prokaza O.I., Kuznetsova O.V. Construction of mathematical models of evaporation plant by experimental-statistical method

In the process of research, it is necessary to have a mathematical description of the technological processes that take place in individual evaporators to solve the problems of optimal control of the evaporation process in the production of ammonium nitrate. The ultimate goal of the study is to obtain an adequate mathematical model of the evaporation process and find the optimal technological regime.

An evaporator was investigated, which includes an evaporator with a separator for evaporating a fresh solution of ammonium nitrate and a afterevaporator with a falling membrane. Analysis of the evaporator as a control object allowed to determine the input and output parameters that characterize the features of the evaporation process in different evaporators. Based on the analysis, the need to develop models for each evaporator is established.

Statistical material was collected from a real control object to obtain experimental and statistical models of the evaporator. Data processing was performed by methods of correlation and regression analysis.

Based on the obtained experimental data, a multifactor correlation-regression analysis was performed to obtain the best possible dependences for estimating the output values of evaporators. For parameters whose statistical description guarantees a given reliability, one-factor regression analysis was performed.

In addition to linear models, exponential, hyperbolic, and logarithmic models were analyzed.

According to the results of the study, it was found that not all of these input parameters have a strong correlation with the output parameters, considering the chosen level of reliability of the model. Thus, some of the information obtained experimentally was not available for analysis by classical statistical methods.

As a result of comparison of criteria of model's adequacy at different stages of research, models with high indicators are received. When checking the adequacy of the obtained models for all dependencies, the relative error of the results did not exceed 2%, which confirms the importance of the obtained models and the possibility of their application for forecasting management.

Keywords: mathematical model, evaporation plant, ammonium nitrate, adequacy criteria.

Проказа Олена Іванівна – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: prokaza@snu.edu.ua.

Кузнєцова Олена Володимирівна – старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: kuznecova@snu.edu.ua.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-41-46>

УДК621.39

КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ В УКРАЇНІ

Тюндер І.С.

CONCEPTION OF TELECOMMUNICATION DEVELOPMENT IN UKRAINE

Tyunder I.S.

Розглянуто питання концепції розвитку телекомунікацій в Україні, стану ринку телекомунікацій. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні відповідно до Закону України "Про телекомунікації" визначає основні засади і напрями подальшого розвитку телекомунікаційних мереж загального користування в ринкових умовах і спрямована на досягнення стратегічних інтересів та конкурентоспроможності України на міжнародному ринку.

Телекомунікації відіграють значну роль в соціальній та економічній діяльності суспільства, забезпечуючи підтримку розвитку економіки держави та соціальної сфери. Розвиток телекомунікацій повинен здійснюватися випереджувальними темпами порівняно із загальними темпами розвитку економіки і буде визначальним на найближчу і більш віддалену перспективу. Повільні темпи розвитку телекомунікацій спричиняють зниження конкурентоспроможності економіки України. Телекомунікації відіграють значну роль у прискоренні розвитку економіки та соціальної сфери.

Відповідно до фінансово - економічних показників без урахування ПДВ, які наведені за даними операторів, провайдерів телекомунікацій, наданих до НКРЗІ, розглянуто стан ринку телекомунікацій. У процесі аналізу стану ринку телекомунікаційних послуг визначено співвідношення показників розвитку галузі із загальними тенденціями розвитку економіки України. Динаміка кількості абонентів фіксованого телефонного зв'язку за період 2013-2021 років свідчить про зменшення попиту споживачів в таких послугах. Доведено, що прискореним темпом розвиваються послуги з надання кабельного телебачення, а також доступу до мережі «Інтернет». Визначено, що основними сегментами на ринку телекомунікаційних послуг залишаються мобільний, фіксований та широкопasmовий (комп'ютерний) зв'язок. Виокремлено проблеми, що стримують розбудову телекомунікацій в Україні, стратегія розвитку телекомунікацій спрямована насамперед на розв'язання зазначених проблем. Досягнення зазначених цілей розвитку телекомунікацій дасть змогу істотно оновити і розширити важливу інфраструктурну складову економіки України.

Звернено увагу на те, що розвиток телекомунікацій України як стратегічно важливого елемента національної безпеки скоротить відставання від розвинутих країн, задовольнить потреби економічного та суспільного розвитку, національної безпеки та оборони держави.

Ключові слова: концепція, телекомунікації, інформація, стратегія, ринок телекомунікацій, економіка України, телекомунікаційна галузь

Вступ. Сучасна епоха світового суспільно-економічного розвитку характеризується формуванням нового типу суспільства - інформаційного, де інтелектуальний капітал у вигляді знань та інформації відіграє провідну, визначальну роль основного чинника виробництва, а обмін останніми здійснюється за допомогою засобів телекомунікації.

Телекомунікаційна галузь є однією з відносно нових галузей економіки, що заснована на технологічних досягненнях у сфері зв'язку та обчислювальної техніки. Це і авторизація кредитних карток, і передавання телеметричних даних, і охоронна сигналізація, і організація платежів населення, і забезпечення міжстанційних зв'язків між базовими станціями систем персонального виклику, і електронна та голосова пошта, і телевідеоконференц-зв'язок, і доступ до Інтернет, і комп'ютерна телефонія тощо. [1]

Галузь телекомунікацій набуває стратегічно важливого значення для України, є перспективним напрямом інформаційно - культурного та економічного розвитку.

Постановка проблеми. Концепція є інструментом реалізації державної політики у сфері телекомунікацій щодо координації діяльності державних органів та підприємств, установ і організацій, пов'язаної з розвитком телекомунікаційних мереж в Україні. Положення цієї Концепції також повинні враховуватися органами виконавчої влади під час розроблення та затвердження концептуальних і програмних документів з питань розвитку спеціальних, відомчих або корпоративних телекомунікаційних мереж.

Концепція визначає проблеми розвитку телекомунікацій, стратегію і основні шляхи їх розв'язання, а також принципи забезпечення комплексного

розвитку телекомунікацій. Для реалізації завдань Концепції передбачається залучити ресурси мереж загального користування різних форм власності, забезпечити взаємодію цих мереж з урахуванням потреб національної безпеки та оборони держави, захист інформації та безпеки критичних елементів мереж, а також управління всіма мережами в умовах надзвичайних ситуацій, надзвичайного та воєнного стану. Стратегія розвитку телекомунікаційних мереж повинна базуватися на використанні новітніх технологій, які відповідають міжнародним стандартам, враховувати необхідність технологічної взаємодії всіх мереж при наданні телекомунікаційних послуг, забезпечити підвищення ефективності їх функціонування.

Стратегія розвитку телекомунікацій спрямована насамперед на розв'язання зазначених проблем, крім того, передбачає здійснення заходів для подальшого забезпечення розвитку телекомунікацій в Україні на базі телекомунікаційних мереж наступного покоління, що передбачають конвергенцію телекомунікаційних та інформаційних мереж і послуг. [2]

Телекомунікаційна галузь має певні особливості, зумовлені інноваційною діяльністю та цільовим ринком, що стрімко розвивається; активним впливом конкурентів; унікальністю продукту й умовами його споживання (зазвичай у момент надання) та ін. Галузь інформації та телекомунікацій не ізольована від інших. Радше навпаки, її розвиток позначається на інших сферах суспільноекономічного життя, у багатьох випадках зумовлює розвиток фінансового сектора економіки, електронної комерції, інструментально забезпечує бізнес-процеси міжнародних відносин у глобальному економічному середовищі, оперативний зв'язок та передачу даних. Ринок телекомунікацій - ефективний інструмент розвитку суспільства загалом. [3]

Аналіз останніх публікацій. Питанням дослідження проблем та перспективам розвитку телекомунікаційного ринку присвятили свої роботи В. О. Кулаков, В. О. Щебельська. Ю. І. Остапенко проводила дослідження господарсько-правового забезпечення функціонування та розвитку телекомунікаційного ринку України у статті «Завдання законодавчої політики у сфері розвитку телекомунікаційного ринку України», О. Т. Патряк у статті «Розвиток телекомунікаційного простору України в контексті формування інформаційного суспільства» досліджено стан та перспективи розвитку ринку телекомунікаційного зв'язку в Україні, визначено співвідношення показників розвитку галузі із загальними тенденціями розвитку економіки України. Седікова І. О. у статті «Сучасний стан розвитку телекомунікаційного простору України» розглянула стан розвитку інформаційного та телекомунікаційного ринку України.

Мета статті. Розглянути питання Концепції розвитку телекомунікацій в Україні, стану ринку

телекомунікаційних послуг в Україні, визначити тенденції його розвитку, описати основні проблеми телекомунікаційних підприємств.

Виклад основного матеріалу. Розвиток телекомунікацій повинен здійснюватися за такими основними напрямками:

- прискорення розвитку телекомунікаційних мереж з використанням новітніх технологічних досягнень (радіотехнологій, волоконно-оптичних, пакетних технологій тощо);

- сприяння реалізації регуляторної політики у сфері телекомунікацій, спрямованої на об'єднання (консолідацію) можливостей суб'єктів ринку телекомунікацій з метою розв'язання основних проблем сфери, підвищення ефективності їх діяльності;

- удосконалення нормативно-правової бази у сфері телекомунікацій.

У сфері телекомунікацій існують такі проблеми:

- низький рівень забезпечення населення, підприємств, установ і організацій широкосмуговими телекомунікаційними послугами;

- нерівномірність забезпечення телекомунікаційними послугами та обмеженість доступу користувачів до загальнодоступних телекомунікаційних послуг (особливо у сільській, гірській місцевості і депресивних регіонах);

- використання на стаціонарних телекомунікаційних мережах морально застарілого та фізично зношеного аналогового обладнання, що стримує розвиток телекомунікацій та негативно впливає на ефективність роботи операторів телекомунікацій;

- наявність великої кількості операторів телекомунікацій, що призвело до нескоординованості їх дій та відсутності єдиного підходу до вирішення проблемних питань розвитку телекомунікацій;

- неефективне використання можливостей прокладених волоконно-оптичних ліній зв'язку та побудованих стільникових мереж операторами телекомунікацій;

- недостатній регуляторний вплив держави на ринок телекомунікацій;

- недостатнє фінансове та матеріально-технічне забезпечення розроблення наукового підходу до визначення принципів державної політики щодо регуляторного впливу на ринок телекомунікацій;

- низький рівень координації органами виконавчої влади діяльності з розвитку мереж загального користування;

- недосконалість нормативної бази з питань провадження інвестиційної діяльності;

- невідповідність системи нумерації телефонної мережі загального користування міжнародним та європейським вимогам;

- обмеженість вибору альтернативних мереж операторів телекомунікацій. [2]

У середньостроковій перспективі акцент в реформах Урядом буде зроблений на усуненні існуючих слабких місць в економіці України та виявлених

структурних невідповідностях з метою забезпечення прискорення економічного зростання, а також на створенні умов для розвитку виробництва, які матимуть найбільший позитивний ефект від розвитку цифровізації економіки.

Нові пандемічні та постпандемічні умови господарювання стимулюватимуть розвиток високотехнологічних виробництв та виробництв з використанням технологій середньо-високого рівня.

Ринок телекомунікацій в даний час на передовій технологічного та цифрового розвитку держави. На операторів покладаються величезні надії та надії щодо забезпечення країни повноцінним мобільним та інтернет-зв'язком.

Цього вимагає державна стратегія цифровізації, яка є частиною Національної економічної стратегії-2030.

«За останні чотири роки зростання доходів ринку телекомунікацій складо 12,8% - до 50,1 млрд грн на рік. Це дуже хороше зростання, його стимулювали впровадження 3G/4G та збільшення користувачів. Інвестиції у галузь за цей же період зросли на 15% – до 13,2 млрд грн. Це свідчить про те, що індустрія добре працює, і, на мій погляд, вона заслуговує на доброзичливу увагу з боку всіх регулюючих і законодавчих органів. Особливо у такій кризовій фазі, в якій ми зараз перебуваємо», - каже президент Київстару Олександр Комаров.

Як відомо, 18 березня 2020 року оператори «великої трійки» – «Київстар», «Водафон Україна» та «Лайфселл» – отримали ліцензії для розвитку 4G у діапазоні 800-900 МГц. В результаті оператори прискорили будівництво мереж за новою технологією та стали більше інвестувати у розвиток швидкісного мобільного інтернету. Втім, влада поклала на представників телекомунікаційного ринку та певні обов'язки. Зокрема, оператори мають забезпечити українців можливістю отримати послуги 4G у кожному населеному пункті з населенням понад 2 тис. осіб за умови покриття не менше ніж 90% населення України, а також на міжнародних та національних автомобільних дорогах. При цьому, як розповідають оператори, уряд сьогодні просить прискорити цей процес і якнайшвидше покрити швидкісним інтернетом 4G українські дороги та віддалені населені пункти.

Зокрема, оператори мають забезпечити українців можливістю отримати послуги 4G у кожному населеному пункті з населенням понад 2 тис. осіб за умови покриття не менше ніж 90% населення України, а також на міжнародних та національних автомобільних дорогах. При цьому, як розповідають оператори, уряд сьогодні просить прискорити цей процес і якнайшвидше покрити швидкісним інтернетом 4G українські дороги та віддалені населені пункти.

«Ми знаходимося, я сказав би, під нормальним тиском. За ліцензійними умовами ми маємо покрити всі дороги міжнародного значення до кінця 2022 року. І це амбітне завдання. На сьогодні вже опрацю-

вано план перерозподілу інвестицій, щоб прискорити цей процес. Компанія націлена на те, щоб на початок 2022 року покрити вже 1830 кілометрів міжнародних доріг», - каже Олександр Комаров.

Відповідно до фінансово – економічних показників без урахування ПДВ, які наведені за даними операторів, провайдерів телекомунікацій, наданих до НКРЗІ, без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях, розглянемо стан ринку телекомунікацій.

Стан ринку телекомунікаційних послуг за I півріччя 2021 року представлений на діаграмі (рис. 1). [7]

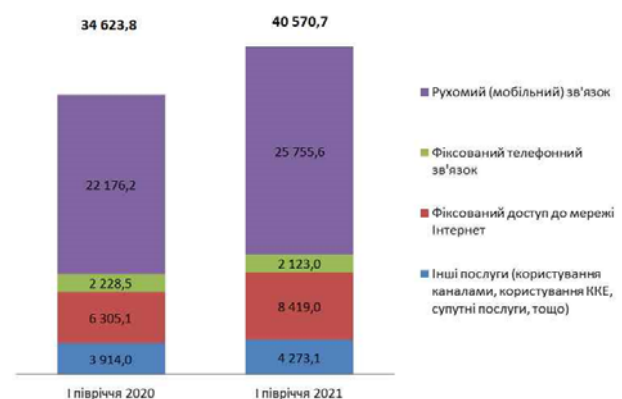


Рис. 1. Структура доходів телекомунікаційних послуг, грн

Показники доходів телекомунікаційних послуг представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники доходів телекомунікаційних послуг, млн грн.

Показник	I півріччя 2020 року	I півріччя 2021 року	Приріст/Падіння, %
Рухомий (мобільний) зв'язок	22176,2	25755,6	16,1
Фіксований телефонний зв'язок	2228,5	2123,1	-4,7
Фіксований доступ до мережі Інтернет	6305,1	8419,0	33,5
Інші послуги (користування каналами, користування ККЕ, супутні послуги, тощо)	3914,0	4273,1	9,2
Всього	34623,8	40570,7	17,2

Структура доходів від надання послуг фіксованого телефонного зв'язку представлена на діаграмі (рис. 2).

Показники доходів від надання послуг фіксованого телефонного зв'язку представлені в таблиці 2.

Кількість ліній фіксованого телефонного зв'язку, тис. од. представлені на діаграмі (рис. 3).

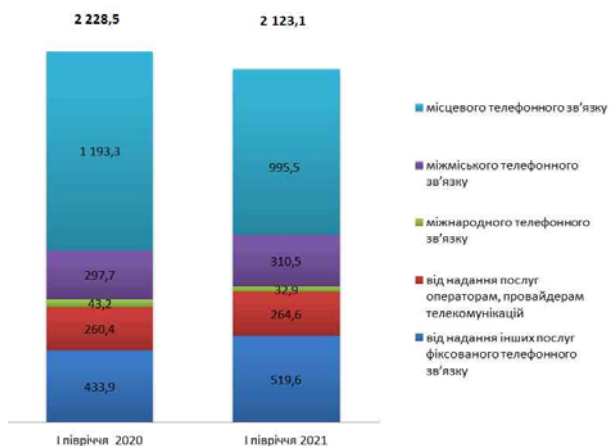


Рис. 2. Структура доходів від надання послуг фіксованого телефонного зв'язку, млн грн

Таблиця 2

Показники доходів від надання послуг фіксованого телефонного зв'язку

Показник	I півріччя 2020 року	I півріччя 2021 року	Приріст/Падіння, %
місцевого телефонного зв'язку	1193,3	995,5	-16,6
міжміського телефонного зв'язку	297,7	310,5	4,3
міжнародного телефонного зв'язку	43,2	32,9	-23,8
від надання послуг операторам, провайдерам телекомунікацій	260,4	264,6	1,6
Від надання інших послуг фіксованого телефонного зв'язку	433,9	519,6	19,8
Всього	2228,5	2123,1	-4,7

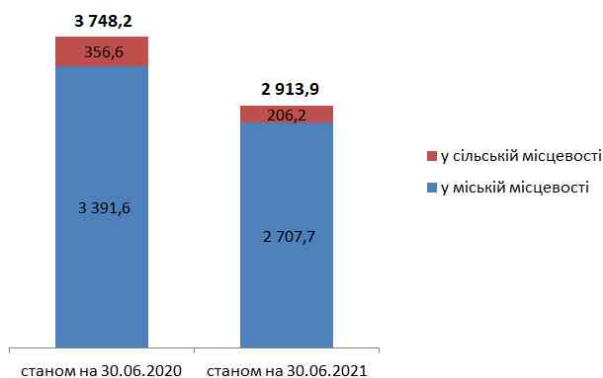


Рис. 3. Кількість ліній фіксованого телефонного зв'язку

Структура доходів від надання послуг з фіксованого доступу до мережі інтернет показана на діаграмі (рис. 4).

Показники доходів від надання послуг рухомого (мобільного) зв'язку представлені в таблиці 3.

У процесі аналізу стану ринку телекомунікаційних послуг визначено співвідношення показників розвитку галузі із загальними тенденціями

розвитку економіки України. Динаміка кількості абонентів фіксованого телефонного зв'язку за період 2013-2021 років свідчить про зменшення попиту споживачів в таких послугах. Прискореним темпом розвиваються послуги з надання кабельного телебачення, а також доступу до мережі «Інтернет». Визначено, що основними сегментами на ринку телекомунікаційних послуг залишаються мобільний, фіксований та широкосмуговий (комп'ютерний) зв'язок.

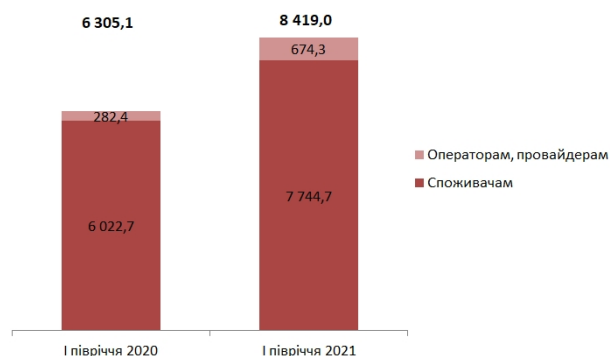


Рис. 4. Структура доходів від надання послуг з фіксованого доступу до мережі інтернет, млн грн

Таблиця 3

Показники доходів від надання послуг рухомого (мобільного) зв'язку

Показник	I півріччя 2020 року	I півріччя 2021 року	Приріст/Падіння, %
Доходи від надання послуг передачі даних, у т.ч. доступу до мережі Інтернет	13180,7	16339,7	24,0
Доходи від надання послуг голосової телефонії, споживачам	4248,9	4062,0	- 4,4
Доходи від надання послуг операторам, провайдерам телекомунікацій	2502,0	2752,7	10,0
Доходи від надання послуг міжнародного роумінгу, споживачам	343,2	441,30	28,6
Доходи від надання послуг передачі SMS-, MMS – повідомлень, споживачам	1234,8	1457,40	18,0
Інші від надання послуг рухомого (мобільного) зв'язку, споживачам	666,6	702,5	5,4
Всього	22176,2	25755,6	16,1

Доходи від надання послуг рухомого (мобільного) зв'язку представлені на діаграмі (рис. 5).

В цілому у 2022-2024 роках передбачається розвиток економіки за траєкторією прискорення економічного зростання. За базовим сценарієм, що представлено у Прогнозі, прогнозується зростання ВВП на рівні 3,8 відсотка у 2022 році, на 4,7 відсотка у 2023 році та на 5 відсотків у 2024 році.

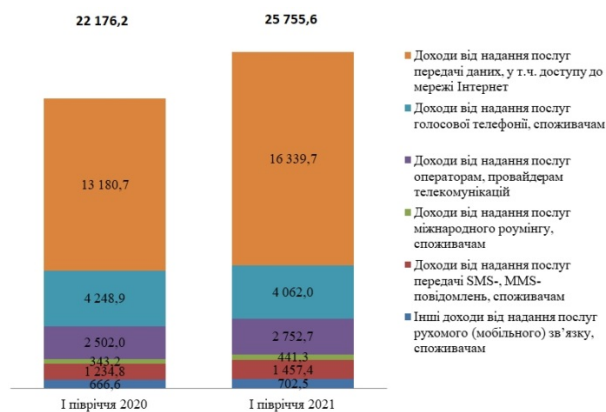


Рис. 5. Доходи від надання послуг рухомого (мобільного) зв'язку, млн грн

Реалізація Концепції дасть змогу забезпечити:

- завершення розвитку мереж мобільного зв'язку другого покоління і розгортання мереж третього покоління, що дасть змогу досягти рівня розвитку таких мереж в розвинутих країнах;

Структура доходів від інших послуг у галузі телекомунікацій представлені на діаграмі (рис. 6).

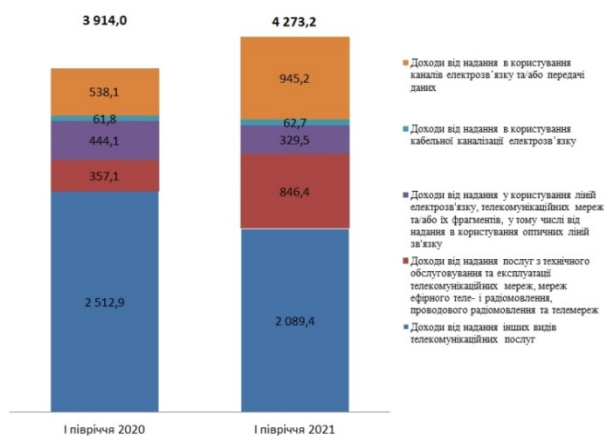


Рис. 6. Структура доходів від інших послуг у галузі телекомунікацій, млн грн.

- підвищення більше ніж втричі пропускної спроможності транспортних телекомунікаційних мереж з метою розвитку мереж і послуг нового покоління для задоволення потреб усіх операторів і провайдерів телекомунікацій та відомчих (корпоративних) мереж у послугах телекомунікаційних транспортних мереж;

- збільшення ємності та пропускної спроможності мереж доступу до транспортних телекомунікаційних мереж з використанням перспективних технологічних рішень, зокрема радіотехнологій;

- завершення переходу у телекомунікаційних мережах загального користування від аналогових технологій до цифрових та розгортання мереж цифрового ефірного телерадіомовлення;

- надання населенню за доступними цінами широкого асортименту високоякісних телеко-

мунікаційних послуг на всій території України та забезпечення рівних прав фізичних і юридичних осіб, які беруть участь у зазначеній діяльності або користуються телекомунікаційними послугами;

- створення Національної системи супутникового зв'язку, що дасть змогу зменшити обсяг коштів, які витрачаються на оренду іноземних систем супутникового зв'язку, і значно розширити застосування супутникових систем для надання телекомунікаційних послуг;

- створення системи оперативно-технічного управління телекомунікаційними мережами в умовах надзвичайних ситуацій, надзвичайного та воєнного стану;

- приєднання інформаційної інфраструктури України до європейської інформаційної інфраструктури та глобальної інформаційної інфраструктури, надання інфокомунікаційних послуг у європейському та світовому інформаційному просторі;

- виконання умов приєднання України до СОТ, зокрема у сфері торгівлі телекомунікаційними послугами. [2]

Висновки. Підсумовуючи результати аналізу, можна стверджувати, що прискорений розвиток телекомунікацій України як стратегічно важливого елемента національної безпеки скоротить відставання від розвинутих країн, задовольнить потреби економічного та суспільного розвитку, національної безпеки та оборони держави, гармонійний розвиток основних складових телекомунікаційної інфраструктури, удосконалення організації, координації, взаємодії та функціонування телекомунікаційних мереж операторів усіх форм власності.

У процесі аналізу статистичних даних та вивчення аналітичних матеріалів з питань телекомунікацій визначено співвідношення показників розвитку галузі із загальними тенденціями розвитку економіки України, виокремлено перешкоди, що стримують розбудову інформаційного суспільства в Україні, сформовано комплексне розуміння галузевих особливостей та тенденцій, що вможливить скерувати подальший науковий пошук на подолання виявлених проблем.

Крім суто галузевих техніко-економічних результатів, розвиток телекомунікацій в Україні дасть змогу досягти вагомих результатів у всіх інших видах соціальної та економічної діяльності суспільства за рахунок більш чіткої організації, економного витрачання усіх видів ресурсів (матеріальних, енергетичних, трудових, фінансових тощо), покращення умов праці та життя громадян України.

Л і т е р а т у р а

1. Остапенко Ю. І. Завдання законодавчої політики у сфері розвитку телекомунікаційного ринку України / Ю. І. Остапенко // Національний університет «Юридична академія України імені Ярослава Мудрого», Вісник Національного університету «Юридична академія України імені Ярослава Мудрого». – 2012.- № 1 (8). - с.227-235

2. Верховна Рада України «Про схвалення Концепції розвитку телекомунікацій в Україні» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua>
3. Патряк О. Т. Розвиток телекомунікаційного простору України в контексті формування інформаційного суспільства / О. Т. Патряк // Вісник ХДАК. – 2018. – Випуск 53. – с. 129-138
4. Кулаков, В. О. й Щебельська, В. О. Основні тенденції розвитку телекомунікаційної галузі: проблеми та перспективи. Вісник Донецького університету економіки та права. – 2013.- №1. -с.14–19.
5. Седікова І. О. Сучасний стан розвитку телекомунікаційного простору України / І. О. Седікова, Д. В. Седіков // Економіка харчової промисловості. – 2014. – № 4. – с. 74-78
6. Платформа LIGA:ZAKON ЗАКОН УКРАЇНИ Про телекомунікації – режим доступу: <http://search.ligazakon.ua>
7. Офіц. веб-сайт національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації. – режим доступу: <https://nkrzi.gov.ua>

References

1. Ostapenko Y. I. The tasks of legislative policy in the sphere of development telecommunication market of Ukraine / Y. I. Ostapenko// A national university is the "Legal academy of Ukraine of the name of Yaroslav Wise", Bulletin of the National university the "Legal academy of Ukraine of the name of Yaroslav Wise". – 2012.- № 1 (8). – с.227-235
2. Verkhovna Rada of Ukraine is "About approval of Conception of development of telecommunications in Ukraine" [Elektron. resurs]. - Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua>
3. Patryak O. T. The development of telecommunication space of Ukraine in the context of the building of information society/ O. T. Patryak // Bulletin of the ХДАК. - 2018. - №53. - с. 129-138
4. Kulakov, V. O. and Shchebelskaya, V. O. Main tendencies of telecommunication industry development: problems and perspectives. Bulletin of the Donetsk University of Economics and Law. – 2013.- №1. -с.14–19.
5. Sedikova I.A. The current state of the telecommunications space of Ukraine/ Sedikova I.A., Sedikov D.V. Economy of food industry. – 2014. – № 4. – с. 74-78
6. Platform of LIGA : ZAKON LAW of UKRAINE On telecommunications [Elektron. resurs]. - Rezhym dostupu: <http://search.ligazakon.ua>
7. Official web site of national commission that carries out government control in the field of connection and informatization. [Elektron. resurs]. - Rezhym dostupu: <https://nkrzi.gov.ua>

Tyunder I.S. Conception of telecommunication development in Ukraine

The question of conception of development, market of telecommunications condition is considered at Ukraine. Conception of development of telecommunications in Ukraine under the Law of Ukraine "On telecommunications" determines basic principles and directions of further development of telecommunication network of the general use in market conditions and sent to the achievement of strategic interests and competitiveness of Ukraine at the international market. Telecommunications play a considerable role social and economic activity of society, providing support of development of economy of the state and social sphere. Development of telecommunications must come true by passing ahead rates by comparison to the general rates of development of economy and will be qualificatory on the nearest and farther prospect. The slow rates of development of telecommunications cause the decline of competitiveness of economy of Ukraine. Telecommunications play a considerable role the acceleration of development of economy and social sphere.

In accordance with financial and economic indexes розглянуто market of telecommunications condition. In the process of analysis of market of telecommunication services condition correlation of indexes of development of industry is certain with general progress of economy of Ukraine. The dynamics of amount of subscribers of the fixed telephone connection for period of 2013-2021 testifies to reduction to demand of consumers in such services. It is proved that services for providing cable TV, and also for providing Internet, are developing at an accelerated pace. Certainly, that basic segments at the market of telecommunication services remain mobile, fixed and broadband(computer) connection.

Problems that restrain development of telecommunications in Ukraine are distinguished, strategy of development of telecommunications is sent first of all to the decision of the marked problems. The achievement of the marked aims of development of telecommunications will give an opportunity substantially to renew and extend the important infrastructural constituent of economy of Ukraine.

Paid attention to that development of telecommunications of Ukraine as strategically important element of national safety will shorten lag from the developed countries, will satisfy the necessities of economic and public development, national safety and defensive of the state.

Keywords: *conception, telecommunications, information, strategy, market of telecommunications, economy of Ukraine, telecommunication industry.*

Тюндер Ірина Сергіївна – старший викладач кафедри «Електронних апаратів» Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: irina.tunder@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-47-52>

УДК 629.463.004.4:656.211.7

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА З ВИПУКЛИМИ СТІНАМИ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ

Фомін О.В., Ловська А.О.

EXAMINATION OF THE LOAD-BEARING STRUCTURE OF A RAIL CAR WITH CONVEX WALLS DURING TRANSPORTATION BY RAILWAY FERRY

Fomin O.V., Lovska A.O.

В матеріалах статті проведено визначення динамічної навантаженості несучої конструкції напіввагона при перевезенні залізничним поромом. В якості прототипу обрано напіввагон моделі 12-757. Особливістю несучої конструкції напіввагона є наявність випуклих стін, що дозволяє підвищити корисний об'єм його кузова на 8% у порівнянні з прототипом. Для можливості перевезення напіввагона на залізничному поромі пропонується постановку на вертикальних листах його шворневих балок листів для закріплення ланцюгових стяжок.

Для обґрунтування запропонованого рішення проведено визначення динамічної навантаженості несучої конструкції напіввагона при перевезенні залізничним поромом морем. Для цього сформовано математичну модель, яка характеризує переміщення залізничного порому з вагонами навколо повздожньої осі (крен). Дослідження проведені стосовно залізничного порому "Герои Шипки", що рухається акваторією Чорного моря. Розв'язок сформованої математичної моделі здійснений в програмному комплексі MathCad при початкових умовах рівних нулю. Загальна величина прискорення з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння, обумовленою кутом крену залізничного порому, склала 0,24g. Отримана величина прискорення врахована при розрахунках на міцність несучої конструкції напіввагона за методом скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation. Особливістю розрахункової моделі є те, що вона враховує навантаження, які діють на несучу конструкцію напіввагона через ланцюгові стяжки. Результати розрахунків встановили, що максимальні еквівалентні напруження виникають в зоні радіального приливу вузла для закріплення та складають 245,2 МПа. Однак отримані напруження не перевищують допустимих. В поперечних балках рами максимальні еквівалентні напруження склали близько 180 МПа, а в середній частині хребтової балки – близько 160 МПа.

Проведені дослідження сприятимуть забезпеченню безпеки перевезень вагонів морем, скороченню витрат на позапланові види їх ремонтів, екологічності залізнично-поромних перевезень, а також підвищенню ефективності їх експлуатації.

Ключові слова: транспортна механіка, напіввагон, несуча конструкція, динамічна навантаженість, міцність, залізнично-поромні перевезення.

Вступ. Ефективність функціонування транспортної галузі зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію сучасних транспортних засобів. Оскільки основний сегмент перевізного процесу відводиться залізничному транспорту, то до створення сучасних конструкцій вагонів повинні пред'являтися особливі умови. Зокрема це стосується їх несучих конструкцій.

При проектуванні несучих конструкцій сучасних вагонів необхідним є врахування уточнених величин навантажень, які можуть діяти на них не тільки при експлуатації на магістральних коліях, а і при комбінованих залізнично-поромних перевезеннях. Даний напрямок є досить актуальним для України, оскільки вона має виходи у міжнародне сполучення через акваторії Чорного та Азовського морів.

Одним з найбільш поширених типів вагонів, який знайшов використання в міжнародному залізнично-водному сполученні є напіввагон. Для забезпечення адаптації несучої конструкції напіввагона до безпечного перевезення залізничним поромом важливим є його удосконалення. Це сприятиме забезпеченню безпеки перевезень вагонів морем, скороченню витрат на позапланові види ремонтів, екологічності залізнично-поромних перевезень, а також підвищенню ефективності їх експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження міцності зварної несучої конструкції кузова вагона проводиться у роботі [1]. Визначено причини виникнення дефектів у конструкційних елементах кузова вагона. Для забезпечення міцності кузовів вагонів нової побудови, а також тих, що проходять ремонт, запропоновані заходи щодо удосконалення. При цьому в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою здійснюється встановлення підсилюючих елементів. Однак при складанні моделі міцності рами вагона не враховані зусилля, які можуть діяти при перевезенні на залізничному поромі.

Аналіз конструкційних особливостей вантажних вагонів BCNHL проводиться у публікації [2]. Визначено можливі шляхи покращення техніко-економічних показників вагонів для підвищення ефективності їх експлуатації. Важливо сказати, що в даній роботі не приділяється уваги необхідності удосконалення схеми взаємодії вагона з палубою залізничного порому.

Визначення динамічної навантаженості кузовів вантажних вагонів, несучі елементи яких виконані з круглих труб проводиться у роботі [3]. Розраховано прискорення, які діють на вагони при маневровому співударянні шляхом математичного та комп'ютерного моделювання. Доведено доцільність запропонованих технічних рішень щодо удосконалення вагонів. Однак при проектуванні даних конструкцій вагонів до уваги прийняті навантаження, які можуть діяти тільки при експлуатації відносно магістральних колій.

Дослідження динамічних навантажень, які діють на кузова вантажних вагонів при перевезенні на залізничному поромі, проводиться у роботі [4]. Обґрунтовано необхідність врахування навантажень, які діють на вагони при перевезенні на залізничних поромках на стадії проектування в умовах вагонобудівних підприємств. Питанням щодо удосконалення схеми взаємодії кузовів вагонів для забезпечення надійності закріплення на палубі залізничного порому в роботі уваги не приділяється.

Дослідження міцності кузова напіввагона при експлуатаційних режимах навантаження проводиться у публікаціях [5, 6]. Результати досліджень показали, що метод прогнозування втомної міцності кузова, заснований на гібридному моделюванні динаміки та аналізі за методом скінчених елементів є можливим. Задача визначення динамічної навантаженості та міцності несучої конструкції вагона при перевезенні на залізничному поромі в даних роботах не ставиться.

Теоретичне та експериментальне дослідження міцності вантажного вагона проводиться у роботі [7]. При цьому до уваги прийняті нормативні величини навантажень, які діють на вагон при експлуатації відносно рейкових колій. Дослідження міцності кузова вагона з урахуванням навантажень, які діють на нього при перевезенні залізничним поромом в роботі не проводиться.

Особливості структурно-динамічного аналізу вагона висвітлені у роботі [8]. Дослідження проведені за методом скінчених елементів. При цьому розглянуто багаторівневу систему вільності вагона. Однак до уваги не прийняті навантаження, які можуть діяти на нього при перевезеннях на залізничних поромках.

Проведений аналіз літературних джерел [1 – 8] дозволяє зробити висновок, що питання визначення динамічної навантаженості, міцності та удосконалення несучих конструкцій вагонів при перевезеннях на залізничних поромках на сучасному етапі роз-

витку транспортної галузі вимагають більш ретельної уваги.

Мета статті. Метою статті є дослідження навантаженості несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами при перевезенні залізничним поромом. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- запропонувати заходи щодо забезпечення надійності закріплення несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами на палубі залізничного порому;

- провести математичне моделювання динамічної навантаженості напіввагона при перевезенні залізничним поромом;

- провести визначення основних показників міцності несучої конструкції напіввагона при перевезенні залізничним поромом.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для підвищення об'ємів перевезень вантажів у напіввагонах запропоновано концепт несучої конструкції з випуклими стінами (рис. 1). Така конфігурація бокових стін дозволяє підвищити корисний об'єм кузова на 8% у порівнянні з вагоном-прототипом [9]. У зв'язку з підвищенням вантажопідйомності вагона необхідним є збільшення жорсткості його рами. Цього можливо досягти шляхом встановлення підсилюючих діафрагм, використанням гофр в найбільш навантажених зонах тощо. Дослідження проведено стосовно напіввагона моделі 12-757.



Рис. 1. Несуча конструкція напіввагона з випуклими стінами

Результати розрахунків на міцність несучої конструкції напіввагона при основних експлуатаційних режимах навантажень підтвердили доцільність запропонованих рішень.

Для можливості перевезення напіввагона на залізничному поромі запропоновано встановлення на його шворневих балках вузлів для закріплення ланцюгових стяжок (рис. 2).

Для визначення прискорень кузова напіввагона при перевезенні залізничним поромом проведено математичне моделювання [4]. Для цього сформовано математичну модель коливань залізничного порому з кузовами вагонів, розміщеними на ньому (рис. 3).

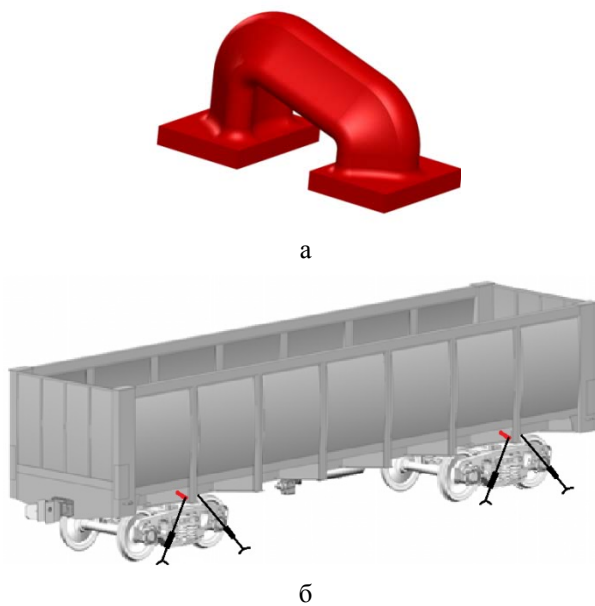


Рис. 2. Удосконалення несучої конструкції напіввагона:
а – вузол для закріплення;
б – схема закріплення вагона на палубі

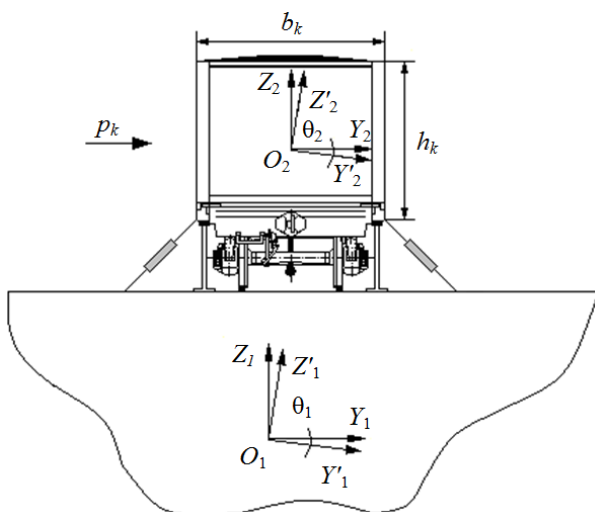


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення динамічної навантаженості кузова напіввагона

Рівняння (1) враховує кутові переміщення залізничного порому з вагонами на його палубах відносно повздовжньої осі.

$$\frac{D}{12 \cdot g} \cdot (B^2 + 4 \cdot z_g^2) \cdot \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \right) \cdot \dot{q}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (1)$$

де q_1 – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню залізничного порому з вагонами навколо повздовжньої осі X .

D – вагове водовитіснення залізничного порому; B – ширина залізничного порому; h – висота борта залізничного порому; Λ_0 – коефіцієнт опору

коливанням; z_g – координата центру ваги залізничного порому; p' – вітрове навантаження на надводну проекцію залізничного порому з вагонами, розміщеними на верхній палубі; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому з кузовами вагонів, розміщеними на його палубах.

Розв'язання диференціального рівняння (1) здійснено в середовищі програмного комплексу Mathcad за методом Рунге-Кутта [10, 11]. Початкові умови прийняті рівними нулю.

Розрахунки проведені стосовно залізничного порому “Герой Шипки”, що рухається акваторією Чорного моря. Гідрометеорологічні параметри акваторії плавання залізничного порому визначені на підставі довідкової літератури [11]. Встановлено, що максимальні прискорення виникають при курсових кутах хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому 60° та 120° і складають $0,2 \text{ м/с}^2$ (рис. 4). При цьому на осі ординат наведені прискорення з урахуванням різних курсових кутів хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому. Загальна величина прискорення з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння, обумовленою кутом крену залізничного порому, складала $0,24g$. При цьому враховано, що кут крену залізничного порому викликаний статичною дією вітру на його надводну проекцію і дорівнює $12,2^\circ$.

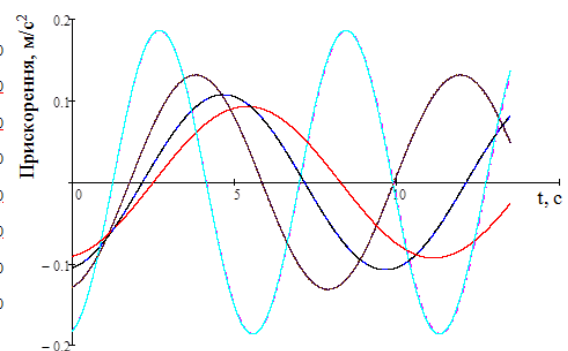


Рис. 4. Прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона при перевезенні залізничним поромом

Отримана величина прискорення врахована при розрахунках на міцність несучої конструкції напіввагона. Розрахунок здійснений за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation.

При складанні скінчено-елементної моделі використані ізопараметричні тетраедри [12, 13]. Оптимальна чисельність скінчених елементів розрахована за графоаналітичним методом [14, 15]. Закріплення моделі здійснювалося за горизонтальні частини п'ятників, тобто в зонах обпирання на ходові частини, а також в зонах взаємодії механічних упордомкратів зі шворневими балками. Матеріал метало-конструкції кузова – сталь марки 09Г2С.

Розрахункову схему несучої конструкції напіввагона наведено на рис. 5. Враховано, що на кузов напіввагона діє вертикальне статичне навантаження P_e^{cm} , тиск розпору насипного вантажу P_p , а також

навантаження, які діють через ланцюгові стяжки P_d . Оскільки ланцюгові стяжки мають просторове розміщення [16], то навантаження, яке буде передаватися на кузов через них, розкладалося на складові (рис. 6). У якості насипного вантажу прийнято кам'яне вугілля, як один з найбільш поширених типів вантажів, що перевозяться напіввагонами у міжнародному-залізнично-водному сполученні.

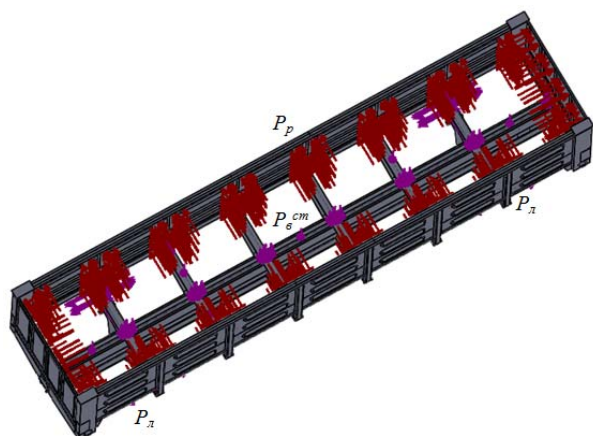


Рис. 5. Розрахункова схема несучої конструкції напіввагона

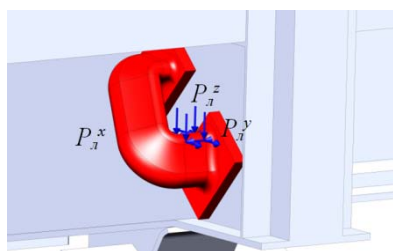


Рис. 6. Навантаження, які діють на вузол закріплення через ланцюгові стяжки

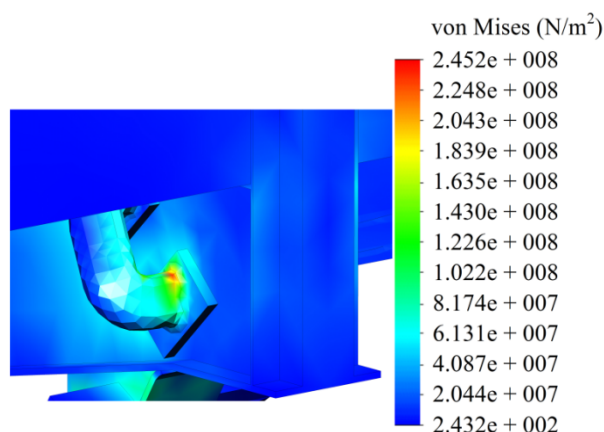


Рис. 7. Напружений стан вузла для закріплення

На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні еквівалентні напруження виникають в зоні радіального приливу вузла для закріплення та складають 245,2 МПа (рис. 7). Однак отримані напруження не перевищують допустимих [17,

18]. В поперечних балках рами максимальні еквівалентні напруження склали близько 180 МПа, а в середній частині хребтової балки – близько 160 МПа (рис. 8).

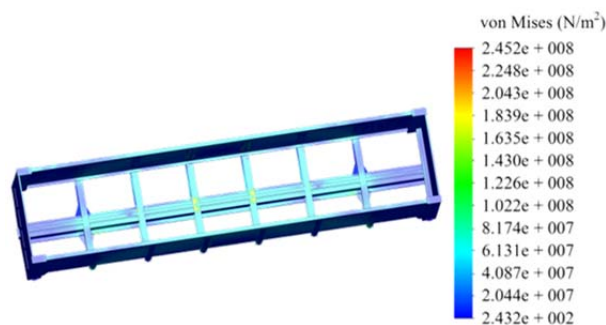


Рис. 8. Напружений стан несучої конструкції напіввагона

Висновки:

1. Запропоновано заходи щодо забезпечення надійності закріплення несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами на палубі залізничного порому шляхом встановлення на шворневих балках вузлів для закріплення ланцюгових стяжок.

2. Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості напіввагона при перевезенні залізничним поромом. До уваги прийнято кутові переміщення залізничного порому відносно повздовжньої осі. Встановлено, що максимальні прискорення виникають при курсових кутах хвиль по відношенню до корпусу залізничного порому 60° та 120° і складають $0,2 \text{ м/с}^2$. Загальна величина прискорення з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння, обумовленою кутом крену залізничного порому, складала $0,24g$.

3. Проведено визначення основних показників міцності несучої конструкції напіввагона при перевезенні залізничним поромом. При цьому максимальні еквівалентні напруження виникають в зоні радіального приливу вузла для закріплення та складають 245,2 МПа. Однак отримані напруження не перевищують допустимих. В поперечних балках рами максимальні еквівалентні напруження склали близько 180 МПа, а в середній частині хребтової балки – близько 160 МПа.

Проведені дослідження сприятимуть забезпеченню безпеки перевезень вагонів морем, скороченню витрат на позапланові види їх ремонтів, екологічності залізнично-поромних перевезень, а також підвищенню ефективності їх експлуатації.

Література

1. Antipin D.Ya. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation / Antipin D.Ya., Racin D.Yu., Shorokhov S.G. // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. P. 150 – 154.
2. Chandra Prakash Shukla. Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons / Chandra Prakash Shukla, P. K. Bharti //

- International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2015. – Vol. 4, Issue 04. P. 1195 – 1200.
3. Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties / Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2017. Vol 6. P. 89 – 96.
 4. Lovska A. O. Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry / A. O. Lovska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. Vol. 3. P. 9 – 14.
 5. Y.-G. Zhong. Fatigue Analysis of Structure of Gondola Car Body Based on Rigid-flexible Coupling Multi-body Systems. / Y.-G. Zhong, Y. Zhan, G. Zhao // 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona, Spain, 2014.
 6. Y.Q. Yuan. Analysis of C80B Wagons Load-Stress Transfer Relation / Y.Q. Yuan, Q. Li, K. Ran // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vol. 148-149. P. 331 – 335.
 7. Sung Cheol Yoon. Evaluation of Structural Strength in Body Structure of Freight Car / Sung Cheol Yoon, Jeong Guk Kim, Chang Sung Jeon, Kang Youn Choe // Key Engineering Materials. – 2010. Vol. 417-418. P. 181 – 184.
 8. Harak S. S. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method / Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. // Procedia Materials Science. – 2014. – Vol. 6. P. 1891 – 1898.
 9. Фомін О. В. Концепт кузова напіввагона з випуклими стінами / О. В. Фомін, М. І. Горбунов, А. О. Ловська // Сучасні технології в науці та освіті. – 2021. С. 169 – 171. doi: [https://doi.org/10.33216/MonographSNU\(978-617-11-0211-8\)-2021-320](https://doi.org/10.33216/MonographSNU(978-617-11-0211-8)-2021-320).
 10. Lovska A. Calculation of Loads on Carrying Structures of Articulated Circular-Tube Wagons Equipped with New Draft Gear Concepts / Lovska A., Fomin O., Kučera P., Pištěk V. // Appl. Sci. – 2020. – Vol. 10(7441). doi:10.3390/app10217441.
 11. Lovska A. Dynamic Load Modelling within Combined Transport Trains during Transportation on a Railway Ferry / Lovska A., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. // Appl. Sci. – 2020. – Vol. 10(5710). <https://doi.org/10.3390/app10165710>.
 12. Fomin O. Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam / Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulia G., Lovska A., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14 (12), 3420. <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
 13. Fomin O. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills / Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14(8) 1915. <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
 14. Vatulia G. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results / Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 230. 02037. doi: 10.1051/mateconf/201823002037
 15. Vatulia G. L. Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab / Vatulia G. L., Lobiak O. V., Deryzemlia S. V., Verevicheva M. A., Orel Ye. F. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 664. 012014. doi:10.1088/1757-899X/664/1/012014
 16. Наставление по креплению генеральных грузов при морской перевозке для т/х “Герои Шипки”. Cargo securing manual for m/v “Geroi Shipky” № 2512.02. Одесса. – 1997. 51 с.
 17. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
 18. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [Действителен от 2016-07-01]. Москва, 2016. 54 с.

References

1. Antipin D.Ya. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation / Antipin D.Ya., Racin D.Yu., Shorokhov S.G. // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. P. 150 – 154.
2. Chandra Prakash Shukla. Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons / Chandra Prakash Shukla, P. K. Bharti // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2015. – Vol. 4, Issue 04. P. 1195 – 1200.
3. Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties / Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2017. Vol 6. P. 89 – 96.
4. Lovska A. O. Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry / A. O. Lovska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. Vol. 3. P. 9 – 14.
5. Y.-G. Zhong. Fatigue Analysis of Structure of Gondola Car Body Based on Rigid-flexible Coupling Multi-body Systems. / Y.-G. Zhong, Y. Zhan, G. Zhao // 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona, Spain, 2014.
6. Y.Q. Yuan. Analysis of C80B Wagons Load-Stress Transfer Relation / Y.Q. Yuan, Q. Li, K. Ran // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vol. 148-149. P. 331 – 335.
7. Sung Cheol Yoon. Evaluation of Structural Strength in Body Structure of Freight Car / Sung Cheol Yoon, Jeong Guk Kim, Chang Sung Jeon, Kang Youn Choe // Key Engineering Materials. – 2010. Vol. 417-418. P. 181 – 184.
8. Harak S. S. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method / Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. // Procedia Materials Science. – 2014. – Vol. 6. P. 1891 – 1898.
9. Fomin O. V. Koncept kuzova napivvagona z vipuk-limi stinami / O. V. Fomin, M. I. Gorbunov, A. O. Lovs'ka // Suchasni tekhnologii v nauci ta osviti. – 2021. S. 169 – 171. doi: [https://doi.org/10.33216/MonographSNU\(978-617-11-0211-8\)-2021-320](https://doi.org/10.33216/MonographSNU(978-617-11-0211-8)-2021-320).
10. Lovska A. Calculation of Loads on Carrying Structures of Articulated Circular-Tube Wagons Equipped with New Draft Gear Concepts / Lovska A., Fomin O., Kučera P., Pištěk V. // Appl. Sci. – 2020. – Vol. 10(7441). doi:10.3390/app10217441.
11. Lovska A. Dynamic Load Modelling within Combined Transport Trains during Transportation on a Railway Ferry / Lovska A., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. // Appl. Sci. – 2020. – Vol. 10(5710). <https://doi.org/10.3390/app10165710>.
12. Fomin O. Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam / Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulia G., Lovska A.,

- Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14 (12), 3420. <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
13. Fomin O. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills / Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14(8) 1915. <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
 14. Vatulia G. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results / Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 230. 02037. doi: 10.1051/mateconf/201823002037
 15. Vatulia G. L. Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab / Vatulia G. L., Lobiak O. V., Deryzemlia S. V., Verevicheva M. A., Orel Ye. F. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 664. 012014. doi:10.1088/1757-899X/664/1/012014
 16. Nastavlenie po krepeleniyu general'nyh gruzov pri morskoy perevozke dlya t/h "Gerol Shipki". Cargo securing manual for m/v "Gerol Shipki" № 2512.02. Odessa. – 1997. 51 s.
 17. DSTU 7598:2014. Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih). [Chinniy vid 2015-07-01]. Kyiv, 2015. 250 p.
 18. GOST 33211-2014. Vagonyi gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. [Deystvitelen ot 2016-07-01]. Moskva, 2016. 54 p.

Fomin O. V., Lovska A. O. Examination of the load-bearing structure of a rail car with convex walls during transportation by railway ferry

The article is devoted to determination of dynamic load-car load-carrying capacity of the upgraded load-car bearing structure when transported by railroad vice. Feature of the load-bearing structure of the wagon is the presence of convex walls, which allows to increase the carcass volume by 8% compared with the prototype. Due to the increase of the car load-carrying capacity the stiffness of the car frame is increased due to installation of reinforcing diaphragms, use of corrugations in the most burdened zones, etc.

The load-bearing structure of the car is adapted to the transportation on the railway ferry. For this purpose, nodes

for fastening of lancet couplers were installed on vertical plates of the pivot beams.

The results of dynamic load-car load-car load-carrying structure determination when the railroad car is carried by the sea are given. For this purpose, a mathematical model, which characterizes the transfer of the railroad sill with the cars, located on its decks, on the moving axis (roll). Hydrometeorological and logistical parameters of the water area of the sailing of the railroad sill were determined on the basis of the updated literature. The mathematical model was developed with the MathCad software package using the Runge-Cutt method. The initial conditions were set equal to zero. The results of these calculations showed that the total value of acceleration, which acts on the car load carrying structure, is 0.24g.

The obtained value of the acceleration was taken into account when calculating the strength of the load-bearing structure of the wagon by the method of connected elements in the SolidWorks Simulation program complex. When creating the calculation model, the loads acting on the load-bearing structure of the wagon through the lancet ties were taken into account. The results of the calculations showed that the maximum quantum-component loads occur in the area of the radial tide of the node to fasten the lancet ties but they do not exceed the admissible values.

The results of the conducted research will contribute to ensuring the safety of carriage by sea, reducing the cost of their repairs, the environmental friendliness of the railroad carriage, as well as increasing the efficiency of their operation.

Keywords: transport mechanics, wagon, load-carrying structure, dynamic load, strength, railroad carriage.

Фомін Олексій Вікторович – д.т.н., професор кафедри “Вагони та вагонне господарство” Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: fomin1985@ukr.net.

Ловська Альона Олександрівна – д.т.н., доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: alionalovskaya.vagons@gmail.com.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-53-57>

УДК 629.463.65

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА ПРИ РОЗМОРОЖУВАННІ В НЬОМУ ВАНТАЖУ

Фомін О.В., Ловська А.О., Сова С.С., Литвиненко А.С.

EXAMINATION OF THE LOAD-BEARING STATE OF THE CAR LOAD-BEARING STRUCTURE WHEN THE CARGO IS FROZEN IN IT

Fomin O.V., Lovska A.O. Sova S.S., Lytvynenko A.S.

В матеріалах статті наведені результати дослідження напруженого стану несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу. В якості прототипу обрано універсальний напіввагон моделі 12-757 побудови ПАТ "КВБЗ". Просторову модель напіввагона створено в програмному комплексі SolidWorks. При побудові просторової моделі несучої конструкції напіввагона враховано елементи конструкції, які жорстко взаємодіють між собою – зварюванням або заклепками, тобто в моделі не враховано кришки розвантажувальних люків.

Для визначення температурного впливу на несучу конструкцію напіввагона здійснено розрахунок за методом скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation (CosmosWorks). Враховано, що напіввагон завантажений кам'яним вугіллям. В якості матеріалу несучої конструкції напіввагона застосовано сталь марки 09Г2С з межею плинності 345 МПа та межею міцності 490 МПа. Скінчено-елементу модель несучої конструкції напіввагона утворено ізопараметричними тетраедрами, оптимальну чисельність яких визначено графоаналітичним методом. На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції напіввагона знаходяться в межах допустимих при температурі розморожування вантажу до 91°C. При цьому максимальні еквівалентні напруження зафіксовані в зоні взаємодії обв'язування нижнього з обшивкою та дорівнюють 343,8 МПа. Максимальні переміщення в несучій конструкції напіввагона виникають в середній частині рами та складають 3,6 мм. Визначено найбільш навантажені зони несучої конструкції напіввагона при розморожуванні вантажу. До таких зон відноситься обшивка бокових та торцевих стін.

Для забезпечення збереження несучих конструкцій напіввагонів при розморожуванні вантажів в них необхідним є дотримання безпечного температурного режиму або впровадження термостійких складових у їх несучі конструкції.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрямків щодо проектування сучасних конструкцій вантажних вагонів з покращеними техніко-економічними показниками.

Ключові слова: транспортна механіка, напіввагон, несуча конструкція, міцність, навантаженість кузова, температурний вплив.

Вступ. Одним з найбільш пріоритетних напрямків розвитку залізничного транспорту, як провідної складової транспортної галузі, що сприяє утриманню його лідерських позицій є створення та впровадження в експлуатацію інноваційних конструкцій рухомого складу. При проектуванні такого рухомого складу важливим є урахування уточнених експлуатаційних навантажень та розрахункових схем.

З метою розморожування змерзлих вантажів в несучих конструкціях вантажних вагонів у зимовий час використовуються конвективні гаражі (рис. 1). При здійсненні процесу розморожування важливим є дотримання температурних режимів при яких забезпечується збереження складових рухомого складу. Підвищення температурного впливу на складові несучої конструкції вагона може сприяє появі її пошкоджень та необхідності здійснення позапланових видів ремонту.

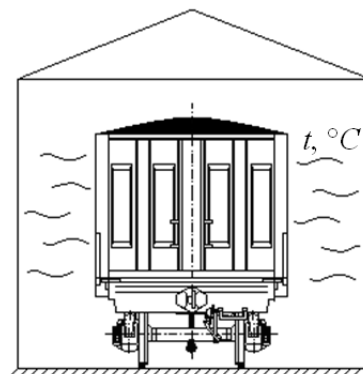


Рис. 1. Схема розморожування вагона у конвективному гаражі

Тому визначення допустимого температурного впливу на несучу конструкцію напіввагона при здійсненні розморожування вантажів в них є досить актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] наведено методику визначення тривалості розморожування вантажів в конвективних гаражах розморожування. Отримано залежність температури розігріву від величини шару змерзлого вантажу.

Особливості визначення тривалості розігріву вантажу в вагонах на основі методу планування експерименту розглянуті у публікації [2]. Контрольна перевірка встановила достатню надійність використання запропонованої методики.

При цьому питанню визначення напруженого стану несучої конструкції вагона при розморожуванні вантажу в ньому уваги не приділено.

В роботі [3] наведено чисельний розрахунок процесу розморожування вантажу в напіввагоні. Розрахунок здійснений за умови використання елементів інфрачервоного випромінювання. Однак в роботі не визначено впливу температури розморожування на міцність несучої конструкції вагона.

Особливості визначення міцності несучої конструкції вагона висвітлюються у публікації [4]. Також в роботі визначено причини виникнення дефектів у складових елементах кузова вагона.

Структурно-елементний аналіз напіввагона типу "BOXN25" з використанням метода скінчених елементів проводиться у роботі [5]. Проведено розрахунок на міцність та модальний аналіз конструкції вагона.

Важливо сказати, що питанням визначення міцності несучих конструкцій вагонів при розморожуванні вантажів в них в даних роботах уваги не приділялося.

Концепція створення кузова вагона з алюмінієвих панелей розглянута у роботі [6]. Особливістю панелей є те, що вони виготовлені по типу "сендвіч". При цьому характеристична функція пошуку оптимальної комбінації визначена максимальними напруженнями та зміщеннями. Однак авторами не проводилося дослідження температурного впливу на удосконалену конструкцію вагона.

В публікаціях [7, 8] наведено обґрунтування заходів щодо удосконалення несучих конструкцій напіввагонів в експлуатації. Наведені результати розрахунку на міцність несучих конструкцій напіввагонів, а також результати модального аналізу. Разом з цим визначенню температурного впливу на запропоновані несучі конструкції напіввагонів при розморожуванні вантажів в них уваги не приділено.

Аналіз літературних джерел [1 – 8] дозволяє зробити висновок, що питанню визначення температурного впливу на несучі конструкції вагонів при розморожуванні вантажів в них досі не приділялося належної уваги. Це викликає необхідність проведення досліджень в цьому напрямку.

Мета статті. Метою статті є висвітлення результатів дослідження напруженого стану несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу. Для досягнення зазначеної мети визначені такі задачі:

- визначити основні показники міцності несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу;

- визначити найбільш навантажені зони несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для визначення навантаженості несучої конструкції напіввагона при розморожуванні змерзлого вантажу, розміщеному у ньому, проведено розрахунок. При цьому застосовано метод скінчених елементів, який реалізований в програмному комплексі SolidWorks Simulation. Розрахунок здійснений на прикладі несучої конструкції універсального напіввагона моделі 12-757 побудови ПАТ "КВБЗ".

При побудові просторової моделі несучої конструкції напіввагона враховано елементи конструкції, які жорстко взаємодіють між собою – зварюванням або заклепками.

При складанні розрахункової схеми враховано, що на несучу конструкцію напіввагона діє вертикальне статичне навантаження $P_{e\text{cm}}$ з використанням повної вантажопідйомності напіввагона (рис. 2).

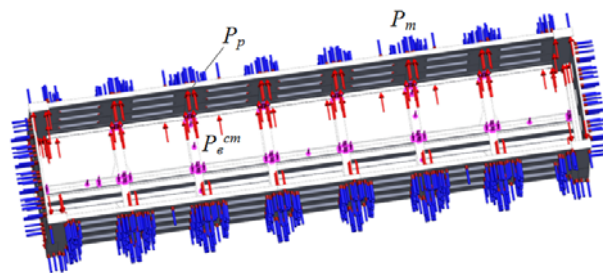


Рис. 2. Розрахункова схема несучої конструкції напіввагона

Також враховано тиск розпору насипного вантажу P_p на бокові та торцеві стіни. До зовнішньої поверхні кузова прикладалася температура P_m .

В якості насипного вантажу прийняте кам'яне вугілля. Тиск розпору насипного вантажу на бокові стіни та торцеві двері кузова напіввагону, визначені за методикою, наведеною в [9, 10]. Згідно цієї методики приймається, що навантаження розпору насипного вантажу на бокові стіни кузова вагону розподілене за законом трикутника з максимумом у його основи, а на торцеву – за законом трапеції.

Максимальні навантаження біля основ стійок бокової стіни визначаються [9]

$$q_1 = 0,5 \cdot p_a \cdot l_1, \quad (1)$$

$$q_2 = 0,5 \cdot p_a \cdot (l_1 + l_2), \quad (2)$$

$$q_3 = 0,5 \cdot p_a \cdot (l_2 + l_3), \quad (3)$$

$$q_4 = 0,5 \cdot p_a \cdot (l_3 + l_4), \quad (4)$$

де P_a – активний (статичний) тиск розпору насипного вантажу, який приходить на одиницю площі поверхні вертикальної стіни на рівні підлоги, кПа;

l_1 – відстань від кінцевої балки рами до геометричної осі п'ятника вагона, м;

l_2 – відстань від геометричної осі п'ятника вагона до другої стійки кузова, м;

l_3 – відстань від другої стійки кузова до третьої, м;

l_4 – відстань від третьої стійки кузова до вертикальної геометричної осі кузова вагона, м.

Активний тиск розпору насипного вантажу визначався за формулою [9]

$$p_a = \gamma \cdot g \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (5)$$

де γ – щільність насипного вантажу, т/м³;

H – висота бокової стіни, м;

φ – кут природного відкосу вантажу, рад;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Тиск нерівномірно розподіленого навантаження, яке прикладене до ступки торцевої двері визначався за формулою [9]

$$p = p_a + p_n, \quad (6)$$

де p_n – пасивний тиск насипного вантажу, який визначається за формулою (5), в якій квадрат тангенса різності двох кутів замінюється квадратом тангенса їх суми та з урахуванням коефіцієнту вертикальної динаміки, а також кута природного відкосу.

Інтенсивність трапецієподібного навантаження, що приходить на кутову стійку визначається [9]

$$q_{T1}^H = 0,5(p_a + p_n) \cdot b_1; \quad (7)$$

$$q_{T1}^6 = 0,5 \cdot p_n \cdot b_1; \quad (8)$$

на проміжну стійку:

$$q_{T2}^H = 0,5(p_a + p_n) \cdot (b_1 + b_2); \quad (9)$$

$$q_{T2}^6 = 0,5 \cdot p_n \cdot (b_1 + b_2); \quad (10)$$

на середню стійку:

$$q_{T3}^H = 0,5(p_a + p_n) \cdot b_2; \quad (11)$$

$$q_{T3}^6 = 0,5 \cdot p_n \cdot b_2 \quad (12)$$

При складанні скінчено-елементної моделі несучої конструкції напіввагона застосовані ізопараметричні тетраедри [11, 12], оптимальна чисельність яких визначена за графоаналітичним методом [13, 14]. Основні характеристики скінчено-елементної моделі наведені в табл. 1.

Закріплення моделі здійснювалося в зонах її обпирання на ходові частини. В якості матеріалу конструкції застосовано сталь марки 09Г2С з межею пластичності 345 МПа та межею міцності 490 МПа [15, 16].

Таблиця 1

Основні характеристики скінчено-елементної моделі несучої конструкції напіввагона

Кількість елементів	352435
Кількість вузлів	116609
Максимальний розмір елементу, мм	100,0
Мінімальний розмір елементу, мм	20,0
Максимальне співвідношення боків елементів	38400
Відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох	18,4
Відсоток елементів з співвідношенням боків більше десяти	36,8
Мінімальна кількість елементів в колі	9
Співвідношення збільшення розміру елементу	1,7

На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції напіввагона знаходяться в межах допустимих при температурі розморожування 91°C (рис. 3).

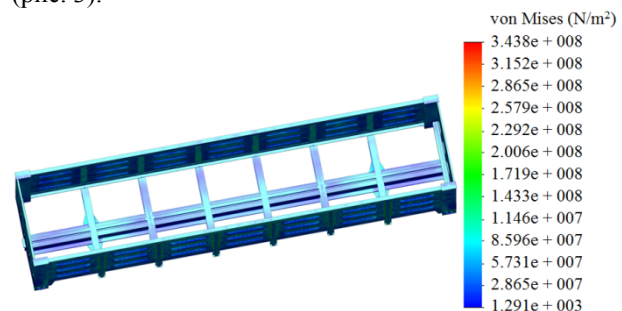


Рис. 3. Напружений стан несучої конструкції напіввагона

Максимальні еквівалентні напруження при цьому зафіксовані в зоні взаємодії обв'язування нижнього з обшивкою та дорівнюють 343,8 МПа. Максимальні переміщення в несучій конструкції напіввагона виникають в середній частині рами та складають 3,6 мм (рис. 4).

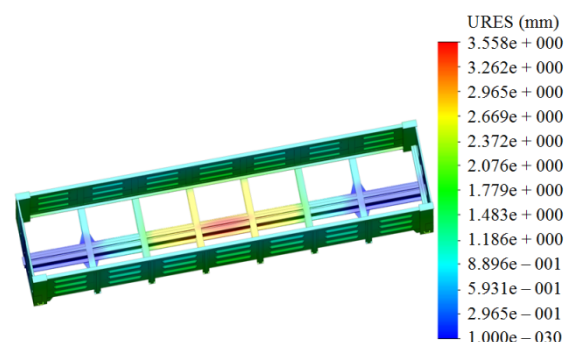


Рис. 4. Переміщення в вузлах несучої конструкції

За розрахунковою схемою, наведеною на рис. 2, визначено найбільш навантажені зони несучої конструкції напіввагона при розморожуванні вантажу (рис. 5). До них відноситься обшивка бокових та торцевих стін.

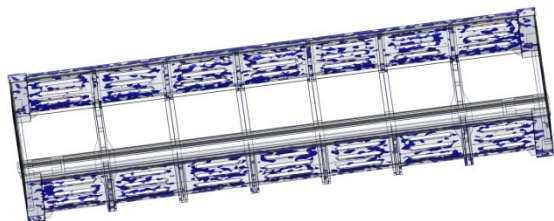


Рис. 5. Найбільш навантажені зони несучої конструкції напіввагона при розморожуванні вантажу в ньому

Висновки:

1. Визначено основні показники міцності несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу. При цьому максимальні еквівалентні напруження зафіксовані в зоні взаємодії обв'язування нижнього з обшивкою та дорівнюють 343,8 МПа. Максимальні переміщення в несучій конструкції напіввагона зосереджені в середній частині рами та складають 3,6 мм

2. Визначено найбільш навантажені зони несучої конструкції напіввагона при розморожуванні в ньому вантажу. До таких зон відноситься обшивка бокових та торцевих стін.

Для забезпечення збереження несучих конструкцій напіввагонів при розморожуванні вантажів в них необхідним є дотримання безпечного температурного режиму або впровадження термостійких складових у їх несучі конструкції.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування сучасних конструкцій вантажних вагонів з покращеними техніко-економічними показниками.

Література

1. Парунакян В. Э. Методика определения продолжительности разогрева грузов в конвективных гаражах размораживания / Парунакян В. Э., Дженчако В. Г. // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2004. – Вип. 14. – С. 319 – 322.
2. Парунакян В. Э. Определение продолжительности разогрева груза в вагонах на основе метода планирования эксперимента / Парунакян В. Э., Дженчако В. Г. // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2006. – Вип. 16. – С. 233 – 239.
3. Беляев Н. Н. Численный расчет процесса размораживания груза в полувагоне / Беляев Н. Н., Карпо А. А. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – Вип. 83. – С. 29 – 33.
4. Antipin D.Ya. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation / Antipin D.Ya., Racin D.Yu., Shorokhov S.G. // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 150 – 154.

5. Harak S. S. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method / Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. // Procedia Materials Science. – 2014. – Vol. 6. – P. 1891 – 1898.
6. Hyun-Ah Lee. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels / Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim, Gyung-Jin Park // Journal of Rail and rapid transit. – 2016. – No. 11.
7. Fomin O. Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam / Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulina G., Lovska A., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14 (12). 3420. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
8. Fomin O. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills / Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14(8). 1915. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
9. Конструирование и расчет вагонов / Лукин В. В., Шадур Л. А., Котуранов В. И., Хохлов А. А., Анисимов П. С. – М.: УМК МПС России, 2000. – 731 с.
10. O. Fomin. Determining the dynamic loading on an open-top wagon with a two-pipe girder beam / O. Fomin, A. Lovska, O. Daki, V. Bohomia, O. Tymoshchuk, V. Tkachenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 3/7 (99) – P. 18 – 25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.166329>
11. Alyona Lovska. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry / Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Vaclav Pistek, Pavel Kucera // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10(16). 5710. doi:10.3390/app10165710
12. Lovska A. Calculation of Loads on Carrying Structures of Articulated Circular-Tube Wagons Equipped with New Draft Gear Concepts / Lovska A., Fomin O., Kučera P., Pištěk V. // Appl. Sci. – 2020. – Vol. 10(7441). doi:10.3390/app10217441.
13. Vatulina G. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results / Vatulina G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 230. 02037. doi: 10.1051/mateconf/201823002037
14. Vatulina G. Regression equations for circular CFST columns carrying capacity evaluation / Vatulina G., Rezunenko M., Orel Y., Petrenko D. // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 107. 00051.
15. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
16. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [Действителен от 2016-07-01]. Москва, 2016. 54 с.

References

1. Parunakyan V. E. Metodika opredeleniya prodolzhitel'nosti razogreva грузов v konvektivnykh garazhah razmorazhivaniya / Parunakyan V. E., Dzhenchako V. G. // Visnik Priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. – 2004. – Vip. 14. – S. 319 – 322.
2. Parunakyan V. E. Opredelenie prodolzhitel'nosti razogreva gruzu v vagonah na osnove meoda planirovaniya eksperimenta / Parunakyan V. E., Dzhenchako V. G. // Visnik Priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. – 2006. – Vip. 16. – S. 233 – 239.

3. Belyaev N. N. Chislennyj raschet processa razmora-zhivaniya gruzha v poluvagone / Belyaev N. N., Karpo A. A. // Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. – 2015. – Vip. 83. – S. 29 – 33.
4. Antipin D.Ya. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation / Antipin D.Ya., Racin D.Yu., Shorokhov S.G. // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. P. 150 – 154.
5. Harak S. S. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method / Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. // Procedia Materials Science. – 2014. – Vol. 6. – P. 1891 – 1898.
6. Hyun-Ah Lee. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels / Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim, Gyung-Jin Park // Journal of Rail and rapid transit. – 2016. – No. 11.
7. Fomin O. Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam / Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulia G., Lovska A., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14 (12). 3420. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
8. Fomin O. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills / Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. // Materials. – 2021. – Vol. 14(8). 1915. <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
9. Konstruirovaniye i raschet vagonov / Lukin V. V., Shadur L. A., Koturanov V. I., Hohlov A. A., Ani-simov P. S. – M.: UMK MPS Rossii, 2000. – 731 s.
10. O. Fomin. Determining the dynamic loading on an open-top wagon with a two-pipe girder beam / O. Fomin, A. Lovska, O. Daki, V. Bohomia, O. Tymoshchuk, V. Tkachenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 3/7 (99) – P. 18 – 25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.166329>
11. Alyona Lovska. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry / Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Vaclav Pistek, Pavel Kucera // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10(16). 5710. doi:10.3390/app10165710
12. Lovska A. Calculation of Loads on Carrying Structures of Articulated Circular-Tube Wagons Equipped with New Draft Gear Concepts / Lovska A., Fomin O., Kučera P., Pištěk V. // Appl. Sci. – 2020. – Vol. 10(7441). doi:10.3390/app10217441.
13. Vatulia G. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results / Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 230. 02037. doi: 10.1051/mateconf/201823002037
14. Vatulia G. Regression equations for circular CFST columns carrying capacity evaluation / Vatulia G., Rezunenkov M., Orel Y., Petrenko D. // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 107. 00051.
15. DSTU 7598:2014. Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih). [Chinniy vid 2015-07-01]. Kyiv, 2015. 250 p.
16. GOST 33211-2014. Vagonyi gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. [Deystvitel'no ot 2016-07-01]. Moskva, 2016. 54 p.

Fomin O. V., Lovska A. O., Sova S. S., Lytvynenko A. S. Examination of the load-bearing state of the car load-bearing structure when the cargo is frozen in it

This article presents the results of the examination of the load-bearing state of the nonversatile wagon load-bearing structure when the cargo is unfrozen in it.

In order to determine the temperature influence on the load-bearing structure of the wagon, we carried out calculations by the method of linked elements, which is implemented in the SolidWorks Simulation (CosmosWorks) program complex. For this purpose, a spacious model of the load-bearing structure of the wagon was created in the SolidWorks software package. During the construction of the spacious model of the car load-bearing structure the elements of the structure that tightly interact with each other are taken into account, i.e. the model does not include the cranks of the loading hatches, since they interact with the load-bearing structure in a hinged manner.

During the calculations it was taken into account that the car is loaded with stone coal. The material of the load-bearing structure of the wagon is 09G2S steel. When constructing the structural-element model of the wagon load-carrying structure, spacious and exoparametric tetrahedrons were used. The optimum number of connected elements was determined by graphoanalytic method.

The results of the calculations showed that the maximum equivalent loads in the load-bearing structure of the wagon are within the permissible limits at the temperature of freezing of the cargo up to 91°C. The maximum equivalent loads in this case are recorded in the area of interaction of the lower shell with the cladding and amount to 343.8 MPa. The maximum displacements in the load-bearing structure of the car are 3.6 mm and occur in the middle part of the frame. The work also includes the results of the identification of the most stressed zones of the load-bearing structure of the wagon when the cargo is frozen in it.

In order to ensure the preservation of load-bearing structures of open wagons during freezing of vans in them it is necessary to maintain a safe temperature regime or the introduction of thermal-strength components in their load-bearing structures.

The results of the conducted research will contribute to the creation of guidelines for the design of modern designs of freight cars with improved technical and economic indicators.

Keywords: transport mechanics, wagon, load-bearing structure, strength, body load, temperature impact.

Фомін Олексій Вікторович – д.т.н., професор кафедри “Вагони та вагонне господарство” Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: fomin1985@ukr.net.

Ловська Альона Олександрівна – д.т.н., доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: alyonalovskaya.vagons@gmail.com.

Сова Сергій Сергійович – аспірант кафедри “Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини” Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: gorbunov0255@gmail.com

Литвиненко Андрій Сергійович – аспірант, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: andrijlitvinenko7@gmail.com

ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-58-65>

УДК 332.146.2.012.35

ДІАГНОСТИКА РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД УКРАЇНИ: ОСНОВНІ ЕТАПИ І ОСОБЛИВОСТІ

Білоус Я.Ю., Галгаш Р.А.

DIAGNOSIS OF THE DEVELOPMENT OF TERRITORIAL COMMUNITIES OF UKRAINE: MAIN STAGES AND FEATURES

Bilous Y.Y., Halhash R.A.

Важливим фактором успіху кожної громади є якість та ефективність управління її розвитком. У той же час, розробка, впровадження та реалізація результативного організаційно-економічного забезпечення розвитку територіальних громад (ТГ) потребує розробки та впровадження відповідних інструментів економічної та організаційно-управлінської діагностики, розробки відповідної методики діагностики розвитку територіальних громад. Метою статті є визначення особливостей та етапів діагностики розвитку територіальних громад України для ухвалення управлінських рішень. Для досягнення поставленої мети та у зв'язку з необхідністю діагностики розвитку територіальних громад як організаційно-економічної системи нами запропоновано проводити діагностику організаційної підсистеми, відносно якої може бути застосована організаційно-управлінська діагностика та економічну діагностику, до якої відповідно можна застосовувати економічну діагностику. У свою чергу моніторинг зазначено одним із головних елементів організаційно-управлінської та економічної діагностики.

Для аналізу організаційної підсистеми методологічною основою визначено системний підхід, який ґрунтується на дослідженні будь-якого економічного об'єкта як системи. У статті також проаналізовано систему управління територіальних громад з позиції теорії систем та теорії змін. Аналіз фундаментальних положень сучасних теорій управління, теорії змін, теорії систем та системного підходу, які присвячені системному аналізу об'єктів управління, характеристики систем управління, визначенню функціональних складових систем управління тощо, дав можливість сформулювати методологічний підхід до аналізу областей діагностики розвитку територіальних громад.

На основі обґрунтування необхідності моніторингу та діагностики відповідних організаційної та економічної підсистем територіальних громад, пропонується застосо-

вувати організаційну та економічну області діагностики розвитку територіальних громад.

Застосування запропонованої у статті методики дасть змогу здійснити абсолютну та відносну діагностику розвитку територіальної громади як організаційно-економічної системи та дасть можливість визначити пріоритети управлінського впливу для розвитку територіальної громади за організаційними та економічними складовими.

Ключові слова: територіальна громада, організаційно-управлінська діагностика, економічна діагностика, організаційно-економічна система, система управління територіальної громади.

Вступ. Після формального завершення об'єднання територіальних громад (ТГ) у 2020 році важливим фактором успіху кожної громади стали якість та ефективність управління її розвитком. Особливістю управлінської роботи, в тому числі в ТГ, є здійснення в її процесах сукупності неформалізованих і формалізованих дій. Її результат залежить від складу інформації про об'єкти, яких стосуються рішення, що приймаються, і інформації про ресурси матеріально-речовинні, фінансові, ресурси часу тощо), які необхідні для вирішення поставлених завдань. Управлінські рішення повинні обґрунтовуватись вичерпною інформацією, адаптуватись до наявних ресурсів і до ситуацій, вирішення яких потребує управлінського впливу і використання принципів і методів стратегічного управління. Отже, враховуючи складність ТГ як організаційно-економічної системи та значну невизначеність впливу зовнішніх і внутрішніх чинників на розвиток ТГ

очевидним є те, що менеджменту територіальних громад для забезпечення успішності своєї діяльності необхідно активно застосовувати в процесах управління розвитком ТГ стратегічні підходи до управління в громаді. Для розробки, впровадження та реалізації результативного організаційно-економічного забезпечення розвитком ТГ необхідно розробити та впровадити відповідні інструменти економічної та організаційно-управлінської діагностики, розробити відповідну методику діагностики розвитку ТГ.

Метою статті є визначення особливостей та етапів діагностики розвитку територіальних громад України для ухвалення управлінських рішень.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Враховуючи те, що адміністративно-територіальна реформа та процеси створення територіальних громад в регіонах України мають свій початок лише у 2014 році, то відповідно територіальні громади як об'єкт дослідження сьогодні залишаються ще не достатньо вивченими. Зокрема це стосується дослідження питань розвитку територіальних громад, їх діагностики з позиції системного підходу, а також їхньої структури управління та результативності ухвалення рішень органами управління територіальної громади. На сьогодні спроби щодо діагностики територіальних громад було здійснено у соціально-економічній сфері [8], сфері стратегічного управління і планування [5] тощо. Так, наприклад, Васильченко Г.В. зробив спробу діагностики стану розвитку територіальних громад з об'єктивної та суб'єктивної позиції, зокрема автор розглядав систему діагностики стану об'єднаної територіальної громади як базову складову процесу стратегічного планування розвитку [5]. У той же час, особливостям та етапам діагностики розвитку територіальних громад України, зокрема їхній організаційній та економічній підсистемам не приділено належної уваги з боку науковців.

Виклад основного матеріалу. Наявність ієрархії пріоритизованих цілей та завдань стратегії розвитку територіальних громад, планів та програм соціально-економічного розвитку територіальних громад, обраний підхід до формування стратегій розвитку створює певний комплекс інструментів організаційно-економічного забезпечення розвитку ТГ, який є придатним для використання в системі управління ТГ, тобто виконавчими органами та органами управління ТГ, але успішність реалізації цього комплексу залежить від того, наскільки якісною, ефективною та результативною є система управління на місцевому рівні. Тому, успішна реалізація завдань розвитку ТГ значною мірою залежить від створення та функціонування ефективної системи управління на місцевому рівні.

Для розробки, впровадження та реалізації результативного організаційно-економічного забезпечення розвитком ТГ необхідно розробити та впровадити відповідні інструменти економічної та організаційно-управлінської діагностики розробити

відповідну методику діагностики розвитку ТГ. При цьому необхідно враховувати, що ми розуміємо територіальну громаду як організаційно-економічну систему, яка знаходиться під впливом чинників зовнішнього та внутрішнього середовища, які виокремлено та проаналізовано у [3].

У зв'язку з необхідністю діагностики розвитку ТГ та врахування її результатів в організаційно-економічному забезпеченні розвитку важливого значення набуваються питання діагностики організаційної підсистеми, відносно якої може бути застосована організаційно-управлінська діагностика та економічної діагностики. Одним із головних елементів організаційно-управлінської та економічної діагностики є моніторинг. Головний сенс моніторингу полягає у виконанні двох взаємопов'язаних функцій – спостереження (відстеження) та попередження: відстеження проводиться з метою виявлення відповідності наявного стану речей бажаному результату, а спостереження – з метою попередження небажаних наслідків [9].

Запровадження системи моніторингу є одним із ключових аспектів організаційно-управлінської та економічної діагностики розвитку ТГ, а процес моніторингу передбачає використання комплексу критеріїв, на основі яких можна надати об'єктивну оцінку результативності досягнення поставлених цілей та завдань. Зокрема, завданням моніторингу є організаційно-управлінська та економічна діагностики за певними областями діагностики у відповідності до організаційної та економічної підсистем. В основу моніторингу має бути покладено методику оцінювання організаційної та економічної підсистем. Система показників, що обирається для оцінювання, має корелювати з визначеними організаційною та економічною підсистемами. Втім, слід зазначити, що відносно ТГ як економічної системи питання щодо елементів та відповідних областей діагностики майже не виникає – структура економічної підсистеми найчастіше подається згідно ресурсного підходу або згідно структури циклу відтворення. Питання ж структурування організаційної підсистеми залишається відкритим та потребує деякого уточнення.

Організаційна підсистема є ключовим найважливішим чинником функціонування та розвитку ТГ. Світова практика свідчить, що, навіть за відсутності ресурсів та в складних нестабільних зовнішніх умовах, соціально-економічні системи здатні досягати успіху та швидко розвиватися при правильно організованій та ефективно діючій системі управління. Дослідження організаційної підсистеми слід здійснювати на основі аналізу та оцінювання її поточного стану, результативності функціонування та динаміки її окремих елементів. Тому, для структурування організаційної підсистеми застосовано підходи сучасних теорій управління та теорії змін, згідно яких система управління розглядається як сукупність пасивних технічних об'єктів (засоби та обладнання), активних соціальних об'єктів (персонал організації та відносини) та моделей процесів управління (організаційна структура, система цілей та процесів

управління) [1, 4, 10]. Сучасні концепції та теорії управління базуються на системному та ситуаційному підходах; визначають пріоритетність соціальної або економічної складової; акцентують увагу, перш за все, на певних конкретних аспектах – цілях, результатах, успіху, сприятливих можливостях тощо [11].

В межах основних положень сучасних теорій управління для дослідження складних, відкритих та динамічних систем, активно застосовується системний підхід. Оскільки ТГ – це складна та динамічна організаційно-економічна система, то для аналізу організаційної підсистеми методологічною основою визначено саме системний підхід, який ґрунтується на дослідженні будь-якого економічного об'єкта як системи.

Оскільки визначення поняття системи управління ТГ базується на засадах системного підходу та загальної теорії систем, то дотримання системних засад при встановленні характеристик системи управління є очевидним: адже, в першу чергу, вона являє собою цілісний комплекс ієрархічно впорядкованих і взаємопов'язаних прямими та зворотними зв'язками елементів, які здійснюють управління розвитком ТГ, тобто є класичним предметом дослідження теорії систем [2]. Варто також зазначити, що до системних характеристик системи управління належить, зокрема, наявність двох специфічних підсистем, перша з яких представляє собою суб'єкт управління, яка здійснює управлінський вплив, а інша – об'єкт, на який цей вплив управлінський спрямовано.

Згідно теорії систем категорію "системи управління" можна визначити, з одного боку, як "концепцію взаємопов'язаних і взаємозалежних частин-компонентів: наукових знань і практичних навичок щодо управління різними об'єктами для забезпечення їх конкурентоспроможності в ринкових умовах і всебічного задоволення потреб за оптимального використання ресурсів" [10], а з іншого боку, як "сукупність активних соціальних і пасивних технічних об'єктів, що реалізують процеси управління в рамках існуючих організаційної структури і організаційної культури" [2].

Пасивні технічні об'єкти являють собою збалансований комплекс окремих видів технічного обладнання та спеціальних засобів, що використовуються в процесі управління. Водночас, система управління підприємством є соціальною системою, під якою розуміється впорядкована в певному відношенні множина взаємодіючих індивідів і груп індивідів з відповідними професійними, духовними та соціально-психологічними аспектами діяльності, які утворюють певну цілісність системи управління [10]. Тобто активні соціальні об'єкти представлені сукупністю соціальних відносин, створених в результаті спільної діяльності соціальних груп, зокрема колектив людей, які здійснюють спільну планувану та взаємопов'язану управлінську діяльність, що передбачає реалізацію функцій управління. До елементів системи управління також відносять систему цілей і стратегій їх досягнення; організаційну струк-

туру управління; систему процесів управління і структури інформації.

Цілі в системі управління є конкретним кінцевим станом чи бажаним результатом, якого прагне досягти група, працюючи разом [4]. Останнім часом в теорії управління найбільш широке поширення одержало поняття управління на основі "бачення цілей" [4]. Воно передбачає прагнення людей працювати заради досягнення визначених ідеалів. Даний підхід є актуальним сьогодні при розробці стратегій розвитку ТГ, оскільки додає змісту праці, створює мотивацію та викликає зацікавленість у всіх зацікавлених до стратегування сторін. Також сучасним підходом при розробці стратегій розвитку ТГ є застосування теорії змін, яка передбачає чітке розуміння і опис ланцюжку кроків, кожен з яких завершується досягненням встановленого результату, що приводить до досягнення кінцевих цілей стратегії [1]. В загальному розумінні стратегічні цілі мають такі характеристики як чіткість, актуальність, досяжність, вимірюваність тощо.

Організаційна структура системи управління передбачає розподіл завдань і повноважень з прийняття рішень між особами або групами осіб у створених відповідних структурних підрозділах. Логічно побудовані та взаємопов'язані рівні управління в системі управління дозволяють найбільш ефективно досягати поставлених цілей. Визначення системи управління підприємством як сукупності організаційної структури й процесів дасть можливість ефективної організації управління, адаптації до умов мінливого зовнішнього середовища [10].

Система управління може характеризуватись як централізованою, так і децентралізованою. Централізована система управління передбачає прийняття всіх важливих рішень в її центральному органі управління, а при децентралізованій системі управління рішення приймаються окремими елементами системи незалежно один від одного і ці рішення не коригує центральний орган управління. У реальних організаційних системах управління частина рішень ухвалюється централізовано, а частина – децентралізовано. Міра централізації системи управління визначається співвідношенням між цими частинами. В свою чергу, аналіз характеристик організаційної структури управління може здійснюватись за такими напрямками як економічність, гнучкість, адаптивність, надійність, оперативність тощо.

Враховуючи необхідність функціонування органів управління ТГ як відкритої для мешканців громади системи, при визначенні областей діагностики та відповідних груп критеріїв необхідно врахувати також умови функціонування системи управління. Умови функціонування системи управління характеризуються перш за все впливом чинників зовнішнього і внутрішнього середовища, зокрема наявністю інформаційної та ресурсної бази для здійснення управлінського процесу та ухвалення відповідних рішень.

Система управління проявляє свої властивості та розвивається під впливом зовнішнього і внутрішнього середовища, але при цьому прагне до збереження власної якісної визначеності і властивостей, що забезпечують відносну стійкість її функціонування. Рівень самостійності і відкритості системи характеризується її зв'язками із зовнішнім середовищем, зокрема інтенсивністю обміну інформацією чи ресурсами між системою управління та зовнішнім середовищем та ступенем впливу інших систем [10, 11]. Від ефективності системи управління залежить вчасне виявлення факторів зовнішнього та внутрішнього впливу, аналіз їх вагомості та наслідків, а також дієвість запропонованих заходів та способів реагування на відповідні впливи та виклики.

Аналіз фундаментальних положень сучасних теорій управління, теорії змін, теорії систем та системного підходу, які присвячені системному аналізу об'єктів управління, характеристиці систем управління, визначенню функціональних складових систем управління тощо, дав можливість сформувати методологічний підхід до аналізу областей діагностики розвитку територіальних громад.

Слід зазначити, що комплексне дослідження будь-якої системи управління має здійснюватися у декілька етапів. На першому етапі обґрунтовується склад та аналізується стан системи управління на визначеному відрізку часу, тобто досліджується структура управління. На другому етапі здійснюється організація процесу управління, тобто досліджується функціонування системи управління [4, 10].

В цілому процес організаційно-управлінської діагностики може здійснюватися відповідно до таких етапів, які представлено на рис. 1 [7]. При цьому діагностика розвитку ТГ повинна здійснюватися на принципах: об'єктивності та неупередженості; прозорості (відповідності визначеним критеріям) та зрозумілості; релевантності (застосування єдиного підходу).

Для уточнення та отримання додаткової інформації стосовно окремих критеріїв можливе проведення опитування співробітників органів управління ТГ, SWOT-аналіз та фокус-групи за окремою областю діагностики, інтерв'ю та співбесіди з представниками функціональних підрозділів.

Слід враховувати, що діагностика розвитку ТГ зачіпає дуже важливі та чутливі для персоналу органів управління ТГ проблеми розподілу прав, обов'язків, повноважень, підпорядкованості тощо. Дуже часто процес такого дослідження та отримання необхідної інформації може викликати супротив з боку співробітників (або навіть груповий організаційний спротив), що вплине на результати аналізу та оцінювання. Тому, незалежно від того, хто буде проводити такий аналіз (уповноважена особа або група осіб з числа співробітників, зовнішні експерти та консультанти), важливим є встановлення робочих відносин з персоналом органів управління ТГ та реалізація певної стратегії дослідження, яка буде відзнятися для різних ТГ та відповідно існуючих

умов і корпоративної культури. Але, в будь-якому випадку насамперед необхідно донести до співробітників мету та важливість дослідження, забезпечити доброзичливий контакт, приділяти значну увагу міжособистісному спілкуванню та повазі до всіх співробітників.

Отже, на основі обґрунтування необхідності моніторингу та діагностики відповідних організаційної та економічної підсистем ТГ, на основі проведеного аналізу теоретичних положень, основних характеристик та умов функціонування системи управління територіальних громад, пропонується застосовувати такі області діагностики розвитку територіальних громад (табл.).

Таблиця

Області діагностики розвитку територіальних громад відповідно до визначених підсистем

Підсистема діагностики	Область діагностики
Організаційна	1. Умови функціонування системи управління ОТГ
	2. Наявність та якісний стан матеріально-технічних засобів для функціонування системи управління
	3. Цілі та стратегії
	4. Організаційна структура та розподіл повноважень
	5. Організація процесу прийняття рішень та партисипативність
	6. Система комунікацій
Економічна	1. Природно-ресурсний потенціал
	2. Кадровий потенціал громади
	3. Економічна інфраструктура
	4. Розвиток підприємництва
	5. Відповідність послуг у громаді її потребам
	6. Система бюджетування та фінансового менеджменту в громаді

При здійсненні діагностики за визначеними областями необхідно використовувати такі дані:

національних інформаційних ресурсів та ресурсів ТГ, інформаційних ресурсів населених пунктів, що входять до ТГ;

дані оцінювання рівня спроможності територіальної громади [6];

інвентаризаційні відомості та огляд споруд та обладнання органів управління ТГ, приміщень, меблів та оснащення робочих місць, умов праці тощо;

стратегічних документів – Стратегії розвитку ТГ та плану заходів, Програми соціально-економічного розвитку та бюджетні програми, результати моніторингу виконання Стратегії та програм тощо;

організаційної та розпорядчої документації (внутрішній регламент, номенклатура організаційної документації, положення про документообіг, положення про структурні підрозділи, положення або програма запобігання корупції, організаційна структура, штатний розпис, посадові інструкції, накази та розпорядження);

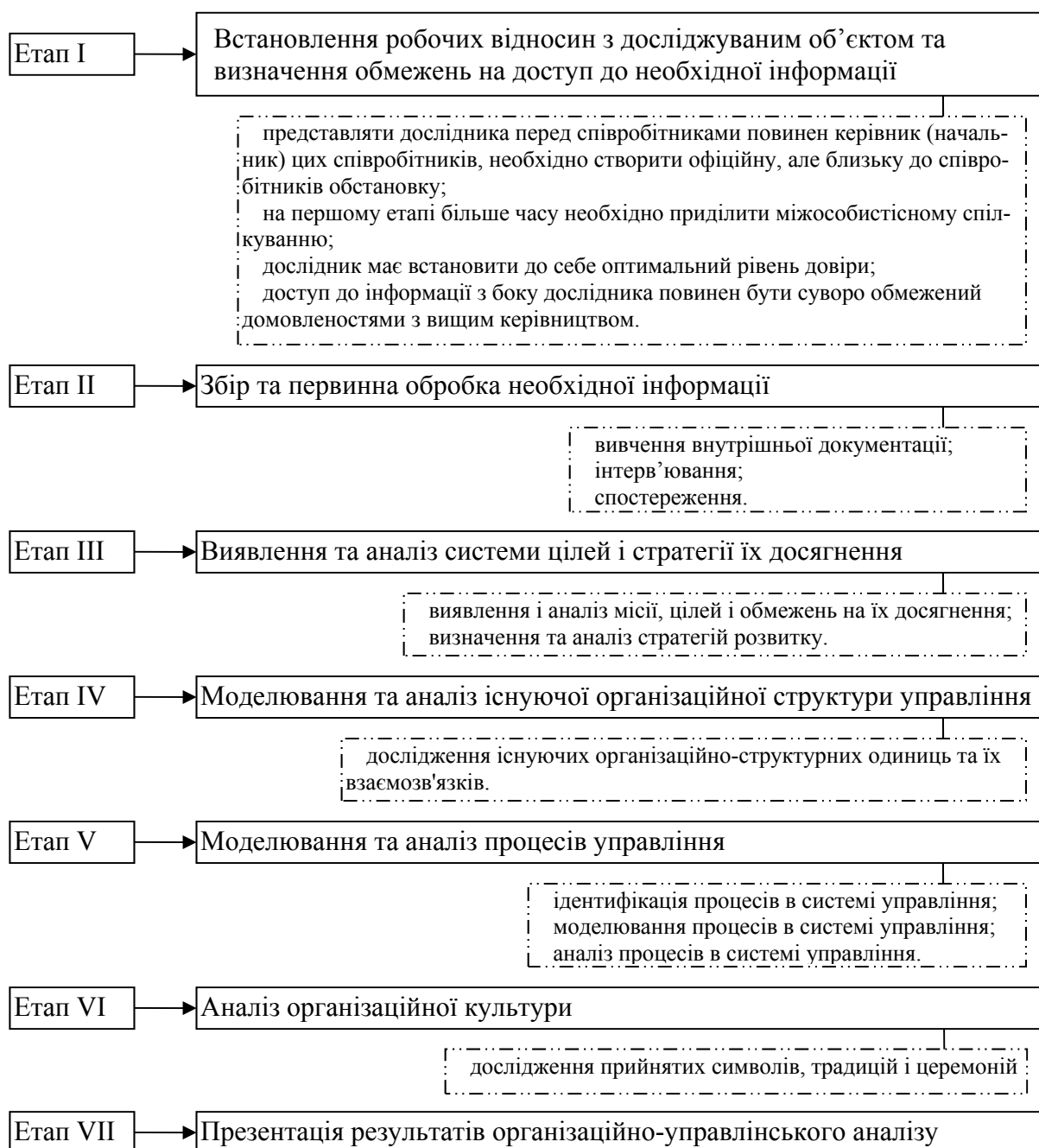


Рис. 1. Організація процесу організаційно-управлінської діагностики (узагальнено на основі [7])

додаткових джерел – положень про органи громадського контролю, дорадчі органи, бюджети участі, новини, проекти рішень, ухвалені рішення, повідомлення про засідання виконавчих органів та протоколи засідань, проведення громадських слухань, програма забезпечення рівних прав та можливостей жінок і чоловіків тощо.

Для діагностики розвитку ТГ як організаційно-економічної системи пропонується підхід який базується на подальшому розвитку існуючих методик організаційно-управлінської та економічної діагностики. Діагностику розвитку ТГ як організаційно-

економічної системи пропонується здійснювати на основі послідовної реалізації таких етапів (рис. 2).

Застосування запропонованої методики дасть змогу здійснити абсолютну та відносну діагностику розвитку ТГ як організаційно-економічної системи та дасть можливість визначити пріоритети управлінського впливу для розвитку ТГ за організаційними та економічними складовими.

Важливим етапом діагностики розвитку ТГ є представлення його результатів, які можуть бути не просто цікавими для кожного співробітника апарату управління, а, що більш важливе, корисним для визначення необхідних напрямів змін та розуміння ко-

жним співробітником свого місця в реалізації стратегії таких змін в діяльності органів управління, служби або функціонального підрозділу. Тому важливо забезпечити просту та зрозумілу для кожного співробітника форму представлення результатів та напрямів необхідних організаційних змін. Для цього пропонується застосовувати узагальнюючі таблиці та графічне представлення результатів аналізу та оцінювання з подальшою діагностикою (віднесення області до певного характерного діапазону значень). Визначені таким способом області (критерії або групи критеріїв) будуть демонструвати ті напрями необхідних позитивних впроваджень, на яких слід зосередити увагу при розробці пріоритетних напрямів організаційно-економічного забезпечення розвитку територіальних громад.



Рис. 2. Методика діагностики розвитку територіальних громад як організаційно-економічної системи

У подальшому, застосування абсолютної та відносної діагностики кожної області та окремих критеріїв дасть змогу визначити найбільш важливі напрями, які негативно впливають на оцінки якості та на яких необхідно зосередити найбільшу увагу при удосконаленні організаційно-економічного забезпечення розвитку територіальних громад.

Висновки. Враховуючи складність ТГ як організаційно-економічної системи та значну невизначеність впливу зовнішніх і внутрішніх чинників на розвиток ТГ необхідно активно застосовувати в процесах управління розвитком ТГ стратегічні підходи до управління в громаді. Для розробки, впровадження та реалізації результативного організаційно-економічного забезпечення розвитком ТГ необхідно розробити та впровадити відповідні інструменти економічної та організаційно-управлінської діагностики.

На основі проведеного аналізу теоретичних положень, основних характеристик та умов функціонування системи управління територіальних громад, пропонується застосовувати організаційну та економічну області діагностики розвитку територіальних громад. Подальший розвиток методики діагностики розвитку ТГ шляхом її застосування до ТГ як організаційно-економічної системи, має здійснюватись на основі: ідентифікації та декомпозиції областей діагностики, визначення критеріїв їх оцінювання, шкали оцінювання та її атрибутивних значень і відповідної графічної інтерпретації та представлення результатів діагностики, – що дасть змогу здійснити абсолютну та відносну діагностику розвитку ТГ як соціально-економічної системи та сприяти визначенню пріоритетів управлінського впливу для розвитку ТГ за організаційною та економічною складовими. Застосування цього інструментарію стане підґрунтям для ухвалення управлінських рішень та дасть змогу органам управління територіальних громад визначити найбільш важливі пріоритетні напрями, які негативно впливають на оцінки якості, та на яких необхідно зосередити найбільше увагу при здійсненні організаційно-економічного забезпечення розвитку територіальних громад.

Література

1. Anderson A. A. Theory of change as a tool for strategic planning. A Report on Early Experiences: The Aspen Institute Roundtable on Comprehensive Community Initiatives. August 2004.
2. Bertalanffy L. von. General System Theory: Foundations, Development, Applications, New York: George Braziller, revised edition, 1976.
3. Білоус Я.Ю. Аналіз чинників конкурентоспроможності об'єднаних територіальних громад / Я.Ю. Білоус // Вісник СНУ ім. В. Даля — 2017. — № 6(236) — С. 26-32.
4. Бурмака М. М., Бурмака Т. М. Управління розвитком підприємства на прикладі підприємств будівельної галузі : монографія. Харків : ХНАДУ, 2011. 204 с.
5. Васильченко Г.В. Система діагностики для розробки стратегій розвитку об'єднаних територіальних громад // Актуальні проблеми розвитку економіки регіону. — Т.1. — №14. — 2020. — С. 101-107.
6. Експерт розробив Інструмент оцінки рівня спроможності об'єднаної громади / Децентралізації в Україні. Офіційна сторінка. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/12252>.
7. Мазур И. И., Шапиро В. Д. Реструктуризация предприятий и компаний / под. общ. ред. проф. И. И. Мазура. — М. : Экономика, 2001. 456 с.

8. Олійник Н.М., Макаренко С.М., Березкін І.С. Діагностика соціально-економічного стану об'єднаних територіальних громад Херсонської області / Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції: «Управління та раціональне використання земельних ресурсів в новостворених територіальних громадах: проблеми та шляхи їх вирішення» (04-05 березня 2021 року). Херсон: ХДАЕУ. — С. 53-56.
9. Ткачук А., Кашевський В., Мавко П. Стратегічне планування у громаді : навчальний модуль. К. : Легальний статус. 2016. 96 с.
10. Черницька А. М. Розкриття і характеристика підходів до визначення системи управління підприємством. Ефективна економіка. 2012. № 12. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1638>.
11. Чорна М. В. Сучасні теорії менеджменту: можливості впровадження на вітчизняних підприємствах. URL: http://www.rusnauka.com/8_NND_2010/Economics/60168.doc.htm.

References

1. Anderson A. A. Theory of change as a tool for strategic planning. A Report on Early Experiences: The Aspen Institute Roundtable on Comprehensive Community Initiatives. August 2004.
2. Bertalanffy L. von. General System Theory: Foundations, Development, Applications, New York: George Braziller, revised edition, 1976.
3. Bilous Ya.Yu. Analiz chynnykiv konkurentospromozhnosti obiednanykh terytorialnykh hromad / Ya.Yu. Bilous // Visnyk SNU im. V. Dalia — 2017. — # 6(236) — S. 26-32.
4. Burmaka M. M., Burmaka T. M. Upravlinnia rozvytkom pidpriemstva na prykladi pidpriemstv budivelnnoy haluzi : monohrafiia. Kharkiv : KhNADU, 2011. 204 s.
5. Vasylychenko H.V. Systema diahnostyky dlia rozrobky stratehii rozvytku obiednanykh terytorialnykh hromad // Aktualni problemy rozvytku ekonomiky rehionu. — T.1. — #14. — 2020. — S. 101-107.
6. Ekspert rozrobiv Instrument otsinky rivnia spromozhnosti obiednanoi hromady / Detsentralizatsii v Ukraini. Ofitsiina storinka. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/12252>.
7. Mazur Y. Y., Shapuro V. D. Restrukturyzatsiya predpriyatiy y kompaniy / pod. obshch. red. prof. Y. Y. Mazura. — M. : Ekonomika, 2001. 456 s.
8. Oliinyk N.M., Makarenko S.M., Berezkin I.S. Diahnostyka sotsialno-ekonomichnoho stanu obiednanykh terytorialnykh hromad Khersonskoi oblasti / Materialy V Vseukrainskoi nauko-vo-praktychna konferentsii: «Upravlinnia ta ratsionalne vykorystannia zemelnykh resursiv v novostvorenykh terytorialnykh hromadakh: problemy ta shliakhy yikh vyrishennia» (04-05 bereznia 2021 roku). Kherson: KhDAEU. — S. 53-56.
9. Tkachuk A., Kashevskiy V., Mavko P. Stratehichne planuvannia u hromadi : navchalnyi modul. K. : Lehalniy status. 2016. 96 s.
10. Chernytska A. M. Rozkryttia i kharakterystyka pidkhodiv do vyznachennia systemy upravlinnia pidpriemstvom. Efektyvna ekonomika. 2012. # 12. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1638>.
11. Chorna M. V. Suchasni teorii menedzhmentu: mozhlyvosti vprovadzhennia na vitchyznianskykh pidpriemstvakh. URL: http://www.rusnauka.com/8_NND_2010/Economics/60168.doc.htm.

Bilous Y.Y., Halhash R.A. Diagnosis of the development of territorial communities of Ukraine: main stages and features.

An important success factor of any community is the quality and effectiveness of its development management. At the same time, the development, implementation and implementation of effective organizational and economic support for the development of territorial communities (TC) requires the development and implementation of appropriate tools for economic and organizational-managerial diagnostics, development of appropriate methods for diagnosing the development of territorial communities.

The purpose of the article is to determine the features and stages of diagnosis of the development of territorial communities of Ukraine for management decisions. To achieve this goal and in connection with the need to diagnose the development of territorial communities as an organizational and economic system, we proposed to diagnose the organizational subsystem, which can be used organizational and managerial diagnostics and economic diagnostics, which can be applied to economic diagnostics. In turn, monitoring is one of the main elements of organizational, managerial and economic diagnostics.

The methodological basis for the analysis of the organizational subsystem is the system approach, which is based on the study of any economic object as a system. The article also analyzes the management system of territorial communities from the standpoint of systems theory and theory of change. Analysis of the fundamental principles of modern management theories, theory of change, systems theory and systems approach, which are devoted to systems analysis of management objects, characteristics of management systems, definition of functional components of management systems, etc.,

Based on the substantiation of the need for monitoring and diagnostics of the relevant organizational and economic subsystems of territorial communities, it is proposed to apply the organizational and economic areas of diagnostics of the development of territorial communities.

The application of the methodology proposed in the article will allow to make absolute and relative diagnosis of the development of the territorial community as an organizational and economic system and will determine the priorities of managerial influence for the development of the territorial community by organizational and economic components.

Key words: territorial community, organizational and managerial diagnostics, economic diagnostics, organizational and economic system, territorial community management system.

Білоус Яна Юрївна – PhD, доцент кафедри публічного управління, менеджменту та маркетингу Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Северодонецьк.

Галгаш Руслан Анатолійович – д.е.н., професор, проректор з науково-педагогічної роботи, економіки та розвитку Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Северодонецьк.

Стаття подана 23.12.2021.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-65-77>

УДК 338.23:330.43:331.2

РОЗВИТОК ІНТЕГРАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ СЕРЕДНЬОМІСЯЧНОЇ ПЛАТИ ЯК ЕЛЕМЕНТУ МАКРОЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЖИТТЯ

Кулаков Є. В., Кривуля П. В.

DEVELOPMENT OF INTEGRAL INDICATORS OF THE AVERAGE MONTHLY INCOME AS AN ELEMENT OF LIFE QUALITY MACROECONOMIC METRICS

Kulakov E.V., Krivulia P.V.

Досліджено проблему актуальності розвитку інтегральних показників середньомісячної плати як елементу системи показників якості життя у країні за умов ринкової економіки, було проведено порівняльний аналіз існуючих моделей підрахунку середньої заробітної плати та наведено приклад можливого рішення проблеми нерелевантності використовуваних у моделях інтегральних показників. Було розглянуто теоретичну базу складання інтегральних показників, які можуть бути використані у вирішенні цієї проблеми, зіставлено думки вітчизняних та зарубіжних науковців за темою складання інтегральних показників у економіці, особливості їх використання та функціонування. Розглянуто можливість використання показників Лібіха та Шелфорда, що лімітують граничну ефективність інтегральних показників в цілому по економіці. У статті було розглянуто статистичну інформацію середньої заробітної плати в Україні за вересень 2021 року, представлено ілюстративний матеріал у табличній формі, на основі якого було проведено експеримент з використанням запропонованою методикою підрахунку заробітної плати, за яким було отримано результат дослідження та зроблено відповідні висновки. Запропоновано використання усіх існуючих методів підрахунку середньої заробітної плати на макrorівні у купі зі запропонованим автором методом, для порівняння отриманої інформації. Завданням наступних досліджень є перевірка гіпотези за даних Держстату з урахуванням частки населення регіонів, порівняння з існуючими методами. Сформульовано перспективні завдання: продовжити дослідження різниць інтервалів вибірки, як перекис її в один із боків, для позначення сили скупченості бідного або багатого населення, яке має вплив на отримання інформації зі загальної вибірки; продовжити дослідження взаємозв'язку існуючих та запропонованої методики підрахунку середньої заробітної плати для їх уніфікації в один інтегральний показник, що зможе відобразити усю сутність вибірки. При цьому запропонований синтетичний показник не претендує бути альтернативою існуючим показникам і замінити їх, а стає похідною узагальненою оцінкою з універсальною назвою «середня заробітна плата» замість кількох показників з однаковою назвою, але різних за значеннями та змістом. Це має виключити використання в процесах професійної комунікації використання омонімічної назви і запо-

бігти помилок комунікатів та утворення частини комунікаційно-наведених ризиків у використанні систем макроекономічних показників.

Ключові слова: доходи населення, заробітна плата, інтегральні показники, лімітуючі фактори, мода, медіана, середнє значення.

Постановка проблеми Проблематика сучасного підрахунку середньомісячної заробітної плати полягає в неефективності використання прагматично застарілих методів обробки вибірки, перегляду їх використання, оскільки вони не можуть відображати повну інформацію, яку містять вибірки. Методи, що використовуються за теперішнього часу, не в змозі відобразити повноту інформації та відповідно не в змозі забезпечити її використання в регулюванні національної економікою. Тому ця система методів має бути вдосконалена шляхом розробки інших методів, альтернативних чи додаткових. Використовувані методи підрахунку інтегрального показника заробітної плати базуються у першу чергу на існуючих методах розрахунку середнього значення вибірки. Простота їх використання не означає однозначно негативні наслідки, проте їхнє початкове широке використання почалося в часи не настільки розвинених комп'ютерних технологій, коли необхідно було дізнатися точного результату, використовуючи великі масиви чисел, а вважати операцію в кілька дій було скрутним для більшості користувачів. Однак жоден з існуючих методів не враховує інтервали між значеннями вибірки, які доносять про її перекис в одну зі сторін, тобто переважання нерівності у бік багатого чи бідного населення. Тому розпочате дослідження є актуальним на сьогоднішній день, бо показник середньомісячної заробітної плати за певним регіоном або галуззю є потужним інформаційно-аналітичним інструментом, який формує уявлення про якість життя. Мета дослідження полягає в аналізі підходів до визначення середнього рівня заробіт-

ної плати, як інтегрального показника, здатного видати інформацію про якість життя в регіоні. Завдання дослідження полягають у теоретичному ознайомленні та аналізі умов формування заробітної плати, шляхів її підвищення, позначенні показника середньої заробітної плати, як носія інформації про рівень життя в регіоні.

Аналіз досліджень та публікацій. У дослідженні було розглянуто роботи вітчизняних та зарубіжних вчених, чий праці присвячено зазначеній проблемі. Насамперед це: А. Базилук, Н. Вишневська, П. Григорук, О. Корчинська, В. Мартинюк, Ю. Остапчук, В. Пономаренко, В. Прохорова, А. Ревко, Т. Романова, Г. Шютте та інші.

Під час дослідження складних економічних явищ виникає потреба у використанні інтегральних оцінок. С. В. Зенченко та В. І. Бережний вважають, що це зумовлено великими обсягами інформації, яку потрібно проаналізувати, узагальнювати, структурувати [6]. Є. В. Ключнікова і Є. М. Шитова виражають думку, що сукупність окремих показників, які характеризують окремі зрізи (боки) явища (об'єкта), сама по собі не може надати узагальненого оцінкового уявлення про об'єкт дослідження, тенденції розвитку та обґрунтувати прогнозні оцінки [7]. Структура національної економіки є складним багатограним явищем, яке відображає не тільки ефективність функціонування економічної системи, а й зумовлює рівень її включення до глобальних економічних процесів. Такі характеристики економіки виступають головними ознаками найбільш повного використання наявного потенціалу, а також оптимальної взаємодії держави в її зовнішньоекономічному просторі та системі міжнародного поділу праці.

Розвиток економіки на шляху її постійного еволюціонування і трансформації безпосередньо пов'язано з її структурою та динамікою змін, що в ній протікають. Спираючись на думку Т. В. Романової, складність таких процесів зумовлено багаторівневістю економічної системи, що у свою чергу вимагає формування достатнього спектра систем оцінювання змін у структурі національного виробництва [21]. Інтегральні показники використовуються на всіх рівнях економіки та показують певну інформацію, яку кінцевий користувач застосовує для визначення ефективності певних економічних характеристик. Інтегральні показники в економіці використовують у вищих та місцевих органах влади, на всіх рівнях підприємства та навіть фізичні особи. Зазвичай, інтегральні показники, що запитуються, відрізняються від типу кінцевого користувача.

Оцінка регіонального розвитку є важливою частиною проведення державної економічної політики, так як є початковим її етапом, що дозволяє провести подальше планування і прогнозування державних витрат. Інтегральні показники часто переплітаються між собою, утворюють певний смисловий взаємозв'язок, оскільки частина вибірки, яку відо-

бражає один показник, може використовуватися для розрахунку іншого показника, в сукупності з іншими даними, утворюючи нову вибірку і відображаючи окрему інформацію. Інтегральний показник, наприкладі пропускну здатності регіону, із застосуванням лімітуючих факторів Лібіха і Шелфорда було розглянуто в [11]. У розрізі середньої заробітної плати, як інтегрального показника можна теж виділити певний взаємозв'язок між іншими показниками, що наочно зображено на рис. 1. Окрім соціальних виплат і купівельної спроможності заробітної плати даний показник може мати відношення до мінімальної заробітної плати, безумовного доходу та іншим формам доходів, які можна систематизувати за населенням. Таким чином неможна нехтувати не тільки синтаксичними та семантичними характеристиками інтегрального показника, а й прагматичними характеристиками, оскільки саме якісні інтерпретації значень інтегрального показника надають сенс його кількісним значенням.

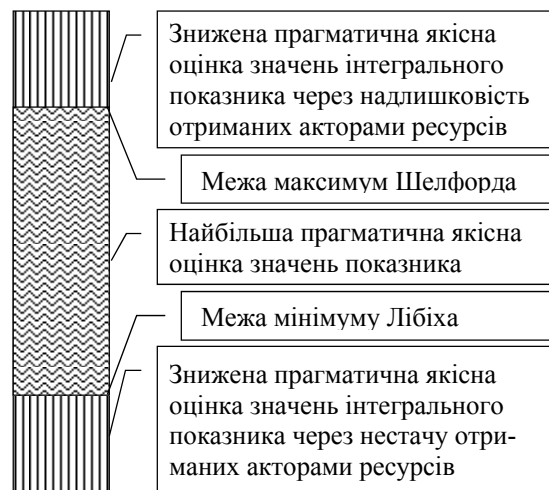


Рис. 1. Принцип лімітуючих факторів у інтегральних показниках

Слід також зазначити, що якщо вважати показник середньої зарплати показником, який характеризує стійкість коаліції шляхом встановлення егалітарної справедливості, то використання лімітуючих (обмежуючих) значень (подібних Лібіхової та Шелфордової межах) певною мірою збігається з ідеєю лексичного та лексикального критерію, але може розглядатися як більш широке тлумачення цієї ідеї: обмежуючі значення можуть бути знайденими не тільки як найменші або найбільші, а й як порогові для найменших та найбільших; як дериватні порогові для кількості значень, що нижче або вище базових порогів; як середні значення відхилень від межі достатності заробітної плати; тощо. Уся сукупність показників теорії кооперованих рішень (функції колективного добробуту, функції колективного вибору, індекс Джині та інші показники) стає частиною предметного поля вирішення функціонального призначення інтегрального показника абсолютного та відносного розподілу заробітної плати, але така велика

множина показників виходить за рамки узького завдання розгляду саме середньої заробітної плати (хоча про її призначення як інтегрального показника не слід забувати).

Першим же показником, який спадає на думку звичайній людині, при проведенні умовного порівняння рівня добробуту однієї країни або регіону з іншим – це рівень середньої заробітної плати. Але кожний економіст розуміє, що рівень середньої заробітної плати як окремих показник поза системи показників не є здатним видати повноцінну інформацію з приводу економічної розвиненості і рівня життя в регіоні. Найбільш істотним джерелом інформації в даному випадку є статистика, яку збирають задля забезпечення та за результатами реалізації фінансової та соціальної політики держави, так яка надає уяву про дію набагато більшого спектру чинників. До таких факторів слід зарахувати ставку податку на дохід, наявність і кількість соціальних виплат, кількість та якість наданих державою послуг за рахунок пільг, в тому числі медичних освітніх і житлових.

Оскільки соціально-економічним правам надано найвищий рівень конституційного захисту, то це означатиме, що держави вільні у проведенні реформ соціальних виплат, у тому числі у бік їх певного зменшення, але вони не можуть їх загалом припинити або скасувати. С. В. Шевчук [24] зазначає, що для відображення цієї тенденції у практику діяльності держав у соціальній сфері було введено поняття «мінімальний невід’ємний рівень соціальних прав», «мінімальне основне зобов’язання щодо соціальних прав» на міжнародному рівні, або «прожитковий мінімум» на національному рівні.

Різні економісти ставляться до поняття мінімальна заробітна плата трохи по-різному, наприклад, А. В. Базилук [1, с. 31] відзначає про те, що мінімальна заробітна плата визначає умови існування людини з урахуванням особливостей розвитку соціальних прошарків населення, які знаходяться на найнижчому рівні ієрархічної системи. Л. С. Ржаніцина [20, с. 62] вважає, що мінімальна заробітна плата має бути достатньою для задоволення мінімальних суспільно необхідних потреб і забезпечити нормальні умови для відтворення робочої сили, Р. Яковлев [26, с. 53] – для задоволення найнеобхідніших потреб самотнього робітника, Г. Г. Шютте [25, с. 162] – для відшкодування витрат праці і сформовані середні умови життя робітників, А. Сафонов [22, с. 17] – для задоволення найбільш значущих фізіологічних та соціальних потреб. Зазначимо, що мінімальний рівень оплати праці є необхідною соціальною ознакою держави, оскільки забезпечує певну зацікавленість у влаштуванні на роботу населення, бо гарантує певний набір послуг, який може бути куплений на ці гроші, тобто мінімальні умови для життя. За сучасних умов саме такі державні трансфери формують значну частину купівельної платоспроможності у сфері обміну, а сфера обміну все більше стає

частиною сфери державного розподілу та перерозподілу національного продукту.

Схожим, але не ідентичним за значенням з мінімальною оплатою праці є безумовний основний дохід. Як зазначає О. О. Корчинська, безумовний дохід – це форма стимулювання економіки та соціальної допомоги громадянам, у межах якої кожен повнолітній громадянин щомісяця отримує фіксовану не оподатковану грошову суму, незалежно від стану його працевлаштування [8]. Концепція безумовного базового доходу не дуже складна: уряд платить громадянам за те, що вони нічого не роблять. Замість державних допомог люди можуть отримати дохід незалежно від своєї ситуації достатку. У цій концепції базовий дохід за своєю сутністю об’єднує поняття «дохід» і «соціальні пільги», так як кожен громадянин отримує певний дохід без різниці, працевлаштований він чи ні. О. М. Пищуліна зазначає, що першочерговою ідеєю введення безумовного доходу є регуляція рівня бідності і плавний перехід до автоматизованого світового виробництва, в якому буде зростати безробіття, оскільки робочі місця будуть прагнути до зниження [15]. Безумовний дохід функціонально призначений не допустити втрату фундаментальних людських свобод і надати можливість людям мати мінімальний споживчий кошик навіть не маючи роботи.

За словами С. А. Прохоровської, необхідність забезпечення адекватного рівня життя за обмежених ресурсів ставить перед урядами складне питання щодо надання відповідних виплат найбільш незахищеним верствам населення [18]. На жаль, існує дуже багато бажаючих у тому чи іншому ступені скористатися можливостями соціальної системи без відповідних прав. На думку А. В. Ставицького, підвищення контролю використання ресурсів, доступу осіб до соціальної сфери лише підвищують адміністративні видатки держави, не розв’язуючи глобальних проблем [23]. Зокрема, зростаюча нерівність доходів навіть у розвинутих країнах свідчить, що існуючі правила не в змозі зупинити розшарування населення, яке призводить до соціальних вибухів, зниження рівня довіри, а й, відповідно, терористичних актів, війн та інших глобальних проблем.

Дуже схожою на безумовний дохід є концепція негативного прибуткового податку, згідно з якою крім базового доходу, що виплачується, необхідна певна податкова ставка, яка регулює отримання громадянами виплат. Наочно модель роботи концепції показано на рис. 2. У цьому випадку, на думку А. М. Ревко, податкова ставка визначає граничний дохід, з якого громадянин стає «реальним» платником податків [19, с. 288]. При цьому реально податки надходять до бюджету тоді, коли податковий платіж покриває базовий дохід, оскільки після цього в бюджет починають надходити кошти з зароблених доходів населення, за вирахуванням базового доходу.

Так як у такому випадку виступають дві змінних – ставка податку та сам базовий дохід, – то держава може більш вільно регулювати рівень безробіт-

тя і бідності населення. У сьогоднішній світовій практиці соціальні виплати, які за своїми функціями дуже схожі з базовим доходом зазвичай не обкладаються податком, що надає найбільшу різницю між двома змінними.

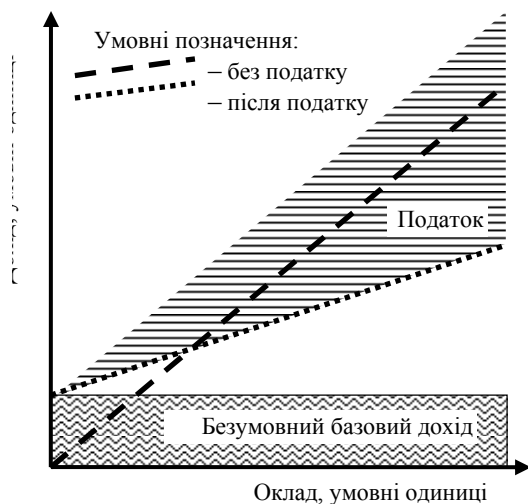


Рис. 2. Схема роботи безумовного базового доходу та негативного прибуткового податку

Таким чином, можна говорити про прямий взаємозв'язок між такими показниками, як доходи населення, заробітна плата, безумовний базовий дохід, соціальні виплати і негативна податкова ставка. Все це є певними показниками, які надають змогу оцінити стан регіональної економіки. Було також встановлено взаємозв'язок і взаємодію названих показників в економіці, визначено фактори, які впливають на ці показники і наслідки, до яких призводить їх зміна.

Інтегральні показники в економіці використовуються на всіх рівнях економіки за певних прагматичних причин, бо оперувати великою вибіркою чисел стає тим важче, чим більше ця вибірка стає. Навіть на сьогоднішній день, коли інформація всюди може обчислюватися за допомогою комп'ютерних технологій, її все одно необхідно виразити якимось єдиним значенням, оскільки кінцевим користувачем вибірки все одно є людина, і для сприйняття нею вибірки необхідний інтегральний показник цієї вибірки, який несе в собі певну інформацію, що було розібрано у [12, с. 105]. Необхідно зауважити, що метод підрахунку показника не менш важливий, оскільки одна і та ж вибірка чисел може містити в собі різну інформацію, яку можна отримати шляхом використання різних методів підрахунку чи моделей. Існуючі моделі наведено на рис. 3.

Як приклад можна навести медіанний метод підрахунку заробітної плати країною, середнє значення і модальний метод. Медіанний метод покаже значення, у якому рівно половина населення отримує заробітну плату вище, інша половина — менше. Середнє арифметичне цієї вибірки в більшості випадків не зможе видати таку інформацію, проте буде корисним у дослідженні відхилень окремого випадку

від середньоарифметичного значення. Модальний метод показує найчастішу зарплату у країні. Таким чином, інтегральні показники можуть виконувати майже безліч функцій для кінцевого користувача і надавати різну інформацію, яку можна отримати з вибірки.

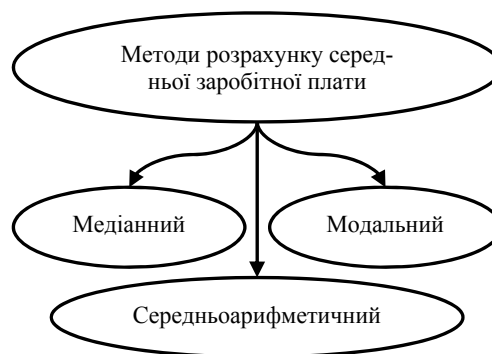


Рис. 3. Методи розрахунку середньої заробітної плати, які використовуються у світовій практиці

На всіх рівнях менеджменту підприємства та держави активно використовуються статистичні дані, що дозволяють об'єднати наявні значення для отримання загальної картини стану суб'єкта. Однак далеко не всі показники є найбільш ефективним методом відбиття вибірки, та відповідно застосування самого релевантного показника, для отримання інформації є важливим завданням для будь-якого управління. Проте використання даних показників розрахунку на рівні національної економіки часто викликає багато питань та дискусій, які виникають на фоні доцільності використання того чи іншого показника або методу розрахунку. Нераціональне використання та застосування інтегральних показників є проблемою, що існує на сьогоднішній день, на макрорівні.

Проблематика використання деяких методів збору статистичних даних полягає в недосконалості кінцевих показників, що використовуються на різних рівнях економіки, тому що спотворення навіть окремих даних може перекреслити саму ціль цього підрахунку. В. В. Прохорова відзначає, що використання інтегральних показників у національній економіці полягає в їхній особливості скорочувати вибірку до певного значення [17], яке зможе з певною часткою успішності представляти кожне з чисел, що знаходиться у вибірці, а також його вплив на національну економіку.

Інтегральні показники часто виконують роль провідників інформації для її користувача, як визначив П. М. Григорук [3], як на державному рівні, так і на рівні підприємств. Користувачами інформації в даному випадку можуть виступати органи влади, керівники підприємств та населення. У випадках, коли користувачем виступають відомства, то мова йде про публікацію державної статистики, метою якої зазвичай є систематизація зібраної інформації, для налагодження збалансованості бюджету, виявлення слаб-

ких місць макроекономічних показників, знаходження профіцитного і дефіцитного регіонального розвитку і т. д. Наступними користувачами інформації, яка збирається інтегральними показниками є менеджери підприємств, яким необхідна статистика, за схожим змістом, що і уряду, але на мікрорівні, яка частіше за все не виходить за межі чинної організації, проте бувають і винятки, наприклад, для проведення порівняльного аналізу фірм-конкурентів, що визначає Н. Т. Вишнева [2]. Останніми користувачами інформації інтегральних показників виступає населення країни, з метою порівняння умов життя в регіоні або по країні, якщо статистику публікує держава, або з метою порівняння соціальної забезпеченості працівників на підприємстві, якщо мова йде про статистику, що публікується останнім.

Самі інтегральні показники позначають єдність вибірки, проте з деякими нюансами. Наприклад, показник діє в певних тематичних умовах і не виходить за їхні межі, має нести в собі певну інформацію для користувача, а при зміні показника, користувач повинен мати можливість зробити певний висновок, позитивна була це зміна чи ні. В економіці інтегральні показники відіграють фундаментальну роль, описуючи по своїй суті, практично всі економічні процеси та сфери діяльності, компілюючи інформацію для користувача і виставляючи її у певному показнику, який може служити як інструментом для планування й прогнозування, як метод попередження негативних наслідків, як спосіб оцінки стану досліджуваного об'єкта або ж просто як проміжний показник, який необхідний для подальших розрахунків.

В якості інтегральних показників на рівні національної економіки може виступати множина показників, таких як: середньомісячна заробітна плата, соціальні виплати, рівень безробіття і зайнятості населення, показник ВВП, рівень державного боргу та інші усереднені значення, як це наводить В. П. Мартинюк [13]. Також, до інтегральних показників можна віднести індекси, як про це зазначає

Ю. М. Остапчук [14, с. 8], коефіцієнти й співвідношення між макроекономічними показниками, або інші модифікації з ними, які можуть представляти вибірку значень і несуть у собі певну інформацію для користувача, що ілюстративно відображено на рис. 4. На мікрорівні має бути складена синтаксично, семантично і прагматично зручна «система показників» для складення інтегрального показника. У [9] надано класифікацію систем показників за ознакою об'єкта-предмета декомпозиції, пов'язаності уявлення, просторово-часового розподілу, терміну дії та інших характеризуючих ознак системи показників, а у [10] описано використання інтегральних показників для оцінки інвестицій.

Г. М. Давидов, Н. С. Шалімова вважають, що в одних країнах висувається задача забезпечення мінімальною заробітною платою прожиткового мінімуму, в інших – забезпечення «задовільного рівня життя» або «рівня життя, який відповідає людській гідності» [4, с. 47]. Слід брати до уваги, що метод підрахунку показника може відрізнятися, в залежності від уряду або організації, яка веде даний підрахунок. Так, наприклад в Україні, як і в багатьох пострадянських країнах підрахунок заробітної плати проводиться методом середнього арифметичного, в той час як в більшості країн Північної Америки та країн ЄС проводиться підрахунок цього ж показника за медіанним принципом. В. С. Пономаренко пояснює, що це говорить про те, що навіть при однакових вхідних даних, результат в Україні і Бельгії буде відрізнятися [16].

Проте спосіб підрахунку медіанним або середнім арифметичним не єдине, що впливає на кінцевий показник. Таким фактором є надбудова до використовуваної моделі, що-небудь, що могло б змінити всю методику підрахунку, як приклад можна привести прибуток до і після оподаткування. Логічно припустити, що усереднена бруто-зарплата буде вищою, ніж аналогічний показник обчислений з нетто-зарплати, причому на різницю між ними впливає ставка податку на прибуток.

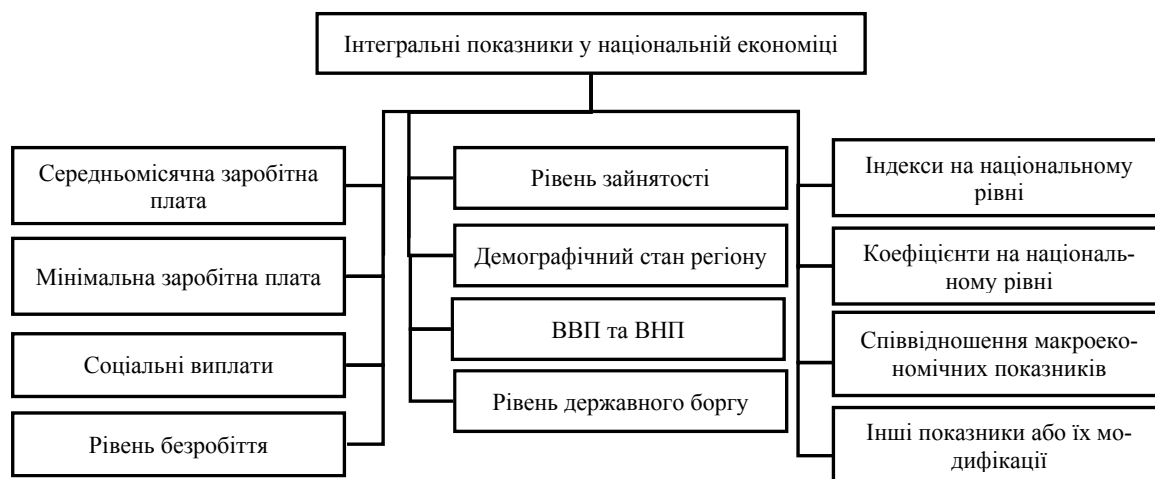


Рис. 4. Інтегральні показники на рівні національної економіки

Інтегральні показники є основою оцінювання стану національної економіки та таким чином виконують важливу роль у наданні інформації кінцевому користувачу, проте через недосконалість використання засад формування інтегральних показників, тобто неврахування синтаксичної, семантичної та прагматичної сутності будь-якого показника та й зокрема таких синтетичних показників як інтегральні, у деяких значеннях використовуваних показників інформація може бути неповною або перекошеною, як приклад – показник середньомісячної заробітної плати, метод підрахунку якого, до того ж, відрізняється в різних країнах.

Слід пам'ятати, що інтегральні показники, як було зазначено, утворюють певний смисловий взаємозв'язок, оскільки частина вибірки, яку відображає один показник, може використовуватися в сукупності з іншими даними для розрахунку іншого показника. У розрізі середньої заробітної плати, як інтегрального показника можна теж виділити певний взаємозв'язок між іншими показниками. Окрім соціальних виплат і купівельної спроможності заробітної плати даний показник може мати відношення до мінімальної заробітної плати, безумовному доходу та іншим формам доходів, які можна систематизувати за населенням. Дослідження взаємозв'язку цих факторів, а також встановлення інших показників, що мають спільне інформаційне навантаження, як і показник середньої заробітної плати, стає умовою постановки мети та завдань дослідження.

Метою статті є визначення показника середньої заробітної плати як інтегрального показника, гармонізація функціональних властивостей якого потребує теоретичного вивчення сильних та слабких сторін декількох існуючих методів підрахунку середнього значення вибірки, пошук та визначення шляхів удосконалення методики підрахунку середньомісячної заробітної плати. Тому завданнями розпочатого дослідження є порівняння, пошук переваг та недоліків у використовуваних методиках підрахунку показника середньої заробітної плати, шляхи їхнього перетину один з одним та розробка системи показників, яка б витримувала експертизу якості на засадах рефлексивної економічної семіотики.

Виклад основного матеріалу

Компаративне дослідження методів. Показник середньої заробітної плати є одним з найбільш затребуваним економічним інтегральним показни-

ком, який використовують в усіх сферах економіки. Він, як і всі інтегральні показники, доносить кінцевому користувачеві певну інформацію з вибірки значень, яка потім використовується користувачем надалі. У деяких країнах орієнтуються на такі інтегральні показники, як: прожитковий мінімум, загальні показники економіки чи рівень інфляції, в інших – на рівень цін та середню заробітну плату, такий перелік приводить Н. І. Єсінова [5]. За час свого існування підрахунок заробітної плати еволюціонував і знайшов різні модифікації, що у свою чергу породило кілька методів його розрахунку.

Першою та найпоширенішою моделлю підрахунку усередненої заробітної плати на пострадянському просторі є подача даних за допомогою середньої арифметичної вибірки. Ця модель використовується в Україні також і сьогодні. Її сутність полягає у методичній простоті отримання інтегрального значення з вибірки будь-якого рівня: державного, регіонального, підприємства. Однак проблема її використання полягає в тому, що щоб виміряти усереднену заробітну плату або доходи населення чи підприємства практично завжди необхідно опустити точність та достовірність підсумкової інформації. Зміст моделі приводить до того, що вона може бути використана та надати релевантну інформацію щодо усередненої заробітної плати тільки за умов, коли всі інтервали між показниками вибірки, яка відсортована в порядку зростання чи спадання, або рівні, або сходять та різняться настільки незначно, що це можна проігнорувати. У більшості випадків, коли інтервали досить сильно різняться між собою, кінцеве значення втрачає свою функцію інформативності.

Для наочної демонстрації роботи моделі необхідно використати примітивний абстрактний приклад, який подано на рис. 5. Припустимо, що на певному підприємстві працює 5 осіб, двоє одержують заробітну плату рівну 1 тисячі доларів, третя особа – 3 тисячі доларів, четверта – 5 тисяч, п'ята – 100 тисяч. У цій вибірці зарплата останнього працівника тягтиме всю вибірку на себе, як результат, середня заробітна плата – 22 тисячі доларів, що наочно наведено на рисунку. Очевидно, що отриманий результат доводить неефективність моделі, оскільки в даному прикладі 80% працівників отримують більш ніж у 4 рази менше за заявлену цифру середньої заробітної плати, а 40% отримують у 22 рази менше.

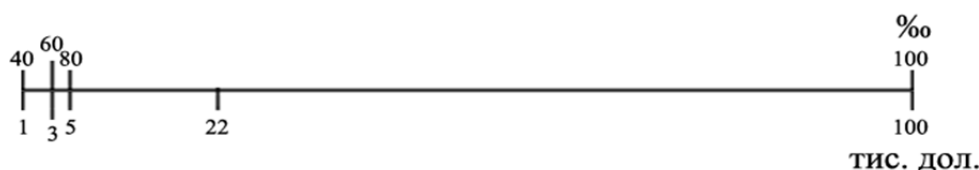


Рис. 5. Демонстрація неефективності використання середньоарифметичного методу підрахунку заробітної плати

Ця модель й досі використовується в багатьох країнах, у тому числі Держстатом України [27], що говорить про використання неефективного методу надання інформації населенню та самому уряду, оскільки цей показник використовується для розрахунків та прогнозування інших показників, у тому числі мінімальної заробітної плати, різних пільг та виплат населенню, тарифікації певних послуг, що надаються державними установами та ін. Як результат, цей показник зачіпає практично весь економічний простір держави, бо надає не повністю правильну інформацію, а значить і наслідки використання даної інформації можуть бути критичними, оскільки використовують недостовірні розрахунки. Проте, варто зауважити, що офіційне використання даної моделі має кілька переваг, проте не статистичних, а політичних та інфляційно-регулюючих, що вже було розглянуто у огляді. Коли вибірка має надмірно сильну пайову перевагу у бік багатого населення, як у прикладі вище, уряд може це використовувати для штучного завищення показника середньої заробітної плати, який демонструють громадськості. Також це може залучити населення інших країн до отримання громадянства або регулювати темпи інфляції, оскільки довіра до національної валюти нібито зростає.

Наступною, найпоширенішою у країнах ЄС та Північної Америки, моделлю є медіанна модель. Вона полягає в тому, що поділяє вибірку навпіл, показник, що стоїть між ними – медіана, – і є середньою заробітною платою. На відміну від середнього арифметичного, медіанна модель більш справедливо виражає середню заробітну плату, оскільки буквально вказує на значення, що знаходиться у середині вибірки і тому може ігнорувати деякі недоліки середньоарифметичної моделі, але звісно має власні недоліки.

До медіанної моделі як способу визначення середньої заробітної плати набагато більша довіра, ніж до попередньої, тому вона більш затребувана у країнах розвинутої економіки. Серед переваг можна виділити концептуальну простоту підрахунку: у цій моделі необхідно відсортувати вибірку за зростанням або спаданням і вибрати те значення, що знаходиться посередині; якщо ж вибірка парна, то вибираються два числа та з них знаходять середнє, тобто якщо вибірка складається з великої кількості чисел їхня частка у розподілі значень не відіграє ролі в загальному результаті, а тільки сама кількість чисел у вибірці. Також перевагою є те, що медіанну модель важче використовувати для штучного завищення показника середньої заробітної плати, оскільки при збільшенні заробітної плати найбагатшого населення або працівників показник не зміниться. Недоліком моделі є те, що вона не враховує частоту повторюваних чисел у вибірці і, якщо вибірка асиметрична та має більше підсумкове значення у одному із боків (майже у всіх країнах, інтервали між значеннями у вибірці переважають у бік багатих, ніж бідних), то це не йдеться до кінцевого показника і, від-

повідно, ігнорується, при наданні показником інформації користувачеві.

Якщо взяти за основу той самий приклад, який було використано у розгляді попередньої моделі, то середня заробітна плата дорівнюватиме 3 тисячам доларів, оскільки це медіана вибірки. Це частково справедлива оцінка ситуації, оскільки 80% співробітників мають відхилення 0-2 тисячі доларів, а співробітник, що залишився, отримує на 97 тисяч більше. Проте, лише 20% отримують заявлене значення заробітної плати, що все одно не є ідеальним результатом.

Ще однією моделлю постає модальне рішення вибірки. Цю модель не застосовують як основний метод підрахунку, а лише іноді для порівняння з іншими середніми числами. На це існує низка причин. Наприклад, якщо застосовувати модальну зарплату аж до копійок, то показник показуватиме інформацію спотворено через те, що у вибірці можуть з'явитися кілька частих індивідуальних випадків повторень, тоді як маса чисел буде далекою від цього показника, але не буде врахована в кінцевому показнику через сильний розкид значень. Щоб цього уникнути, модальну зарплату зазвичай рахують за тисячами грошових одиниць, відкидаючи частину чисел, що менше за розрядом. Однак це означає, що кінцевий результат враховує не всю інформацію з вибірки.

Також модальна заробітна плата найчастіше менша за середньоарифметичну та медіанну, оскільки саме у низькооплачуваних працівників найчастіше повторюється показник заробітної плати і тому вони «тягнуть» вибірку вниз, що змушує засумніватися в правдивості показника, як середнього для вибірки. За даними того ж абстрактному прикладу, що було використано у попередніх числових ілюстраціях, модальна зарплата складе всього 1 тисячу доларів, – таку зарплату отримують 40% акторів, але інші отримують щонайменше у 3 рази більше.

Іноді, у статистиці використовуються децилі, які поділяють вибірку на 10 рівних частин, – при цьому відкидаються верхній і нижній децилі, щоб виключити вплив надто великих чи надто низьких чисел на результат, а вже після того з отриманої вибірки вираховують необхідний показник. Підрахунок заробітної плати за таким методом нараховується поверх отриманої вибірки, однак, варто зауважити, що медіанна заробітна плата при цьому залишається тим самим показником. Порівняння усіх методів підрахунку середньої заробітної плати наведено у табл. 1.

З проведеного аналізу можна дійти висновку про недосконалість існуючих методів підрахунку середньої зарплати населення. Кожен метод несе в собі певне ідеальне відбиття мети отримання кінцевого результату усереднення вибірки, яке впливає на те, що кожен з них відрізняється від інших результатів усереднення. Існуючі методики надають певну інформацію кінцевому користувачеві, однак їхні алгоритми розрахунку не зовсім підходять під визначення

Таблиця 1

Порівняння методів підрахунку середньої заробітної плати

Метод розрахунку	Переваги	Недоліки
Середньо-арифметичний	простота підрахунку; поширене використання схожого методу у різних сферах діяльності.	сильно залежить від інтервалів значень вибірки; найчастіше використовується як штучне завищення значень показника; значення показника часто зрушено у якісь бік.
Медіанний	найбільш проста методика підрахунку; половина отримує більше значення показника, половина – менше; при використанні децильного методу результат не змінюється; важко використовувати для штучного завищення.	методика враховує бере до уваги тільки кількість значень, а не їхні значення; не враховує «перетягнутість» вибірки; не враховує частоту повторюваних чисел.
Модальний	практично неможливе штучне завищення значень показника; враховує частоту повторів значень вибірки.	у великій вибірці складно рахувати без допомоги комп'ютера; може виникнути мультимодальність; проблема при розрахунках до дробових значень; у наступному звітному періоді мода може кардинально змінюватись.
Децильний	модифікація вибірки для використання поряд з іншими методами; відрізає найбільш радикальні значення, які можуть «перетягувати» вибірку.	відсутність граничних даних у вибірці робить її трохи іншим набором значень; ускладнення загального розрахунку; може призвести до спотворення результату.

показника, який може видати інформацію про справді усереднену заробітну плату населення певного кластера вибірки, супроводжуючи розрахунок зі своїми перевагами та недоліками.

Крім того, слід пам'ятати, що будь який з цих показників має відбивати рівень добробуту та якість життя у певній групі населення, що буде мотивувати користувачів інтегрального показника використовувати його у створенні інших показників, сприймаючи його як функцію колективного добробуту. Але якість дериватних показників буде безумовно залежати від якості цього показника, від його спроможності відбивати одним значенням всі значення у вибірці. Можливим кроком розвитку інтегрального показника середньої заробітної плати може стати розробка допоміжного показника, що характеризує розкид у вибірці (як середньоквадратичне відхилення є додатковою до математичного сподівання характеристикою розподілу), але якість цього допоміжного показника залежатиме від якості основного показника. Наприклад, таким допоміжним показником буде якийсь-то індекс соціально-економічної гармонії, який будуть вираховувати як відношення індексу Джині за розподілом людського капіталу до індексу Джині за розподілом заробітної платні (або навіть за розподілом усім доходів у будь якій формі). Але такий індекс соціально-економічної гармонізації не буде відбивати рівень достатку, бо за різних рівнів абсолютних значень у таких розподілах він буде мати різні тлумачення. Тому й знаходження абсолютного інтегрального показника заробітної плати (який можна буде поширити на розподіли інших доходів) має велике значення.

Пропозиція синтетичного показника. Через велику кількість недоліків у існуючих моделях, пропонуємо власну синтетичну методику підрахунку середньої заробітної плати, а її використання на практиці, реалізація у реальному розрахунку є подальшими завданнями у досягненні загальної мети дослідження. Методика ґрунтується на модальному методі, з частковим використанням медіани. Крім даної методики розрахунку у різних ситуаціях оцінювання мають бути використані й інші методи розрахунку на офіційному рівні, як ситуаційно виправдані або як додаткові, оскільки вони показують додаткову інформацію, відхилення за інтервалами вибірки, концентрацію великої кількості чисел з дрібним інтервалом в одній із частин вибірки, відхилення середнього показника від медіани, частоту повторюваних значень, тощо. Принцип роботи порозрядної модально-медіанної методики розрахунку заробітної плати наведено на рис. 6.

Відмінність даного методу від інших, які використовуються, у тому, що він покроково перебирає розряди, зліва направо, на наявність моди, після її встановлення у першого розряду переходить до наступного і так до останнього. Кінцевий користувач сам вирішує, до якого розряду слід розраховувати вибірку і може зупинитися на будь-якому з розрядів, оскільки дана методика це дозволяє, та якщо користувачеві не потрібне обчислення до сотих, він може зупинити розрахунок на тисячах або сотнях.

У разі виникнення мультимодальних ситуацій пропонуємо вибирати як основну моду ту, що знаходиться ближче до медіани вибірки. Якщо ж дві моди розрядів однаково близькі до медіанного значення, то порівнювати слід два крайніх значення з вибірок

мод, які вийшли ближче до медіани, тобто, найвище з однієї вибірки і найменше з другої: у подальшому використовують те, що знаходиться найближче до медіани. У разі виникнення мультимодальних ситуацій пропонується обирати як основну моду ту, що знаходиться ближче до медіани вибірки. Якщо ж два порівнюваних значення все ще знаходяться на рівному інтервалі від медіани, то слід вибирати найменше з цих чисел для продовження розрахунків, або зупинити розрахунок, якщо користувач вважає, що розрахунок подальшої інформації настільки незначний, що практично не вплине на кінцевий результат. Як приклад, можна опустити розрахунок знаків після коми, одиниць, десятків при розрахунках у певних валютах, наприклад, у гривнях, проте долари США слід розраховувати аж до сотих.

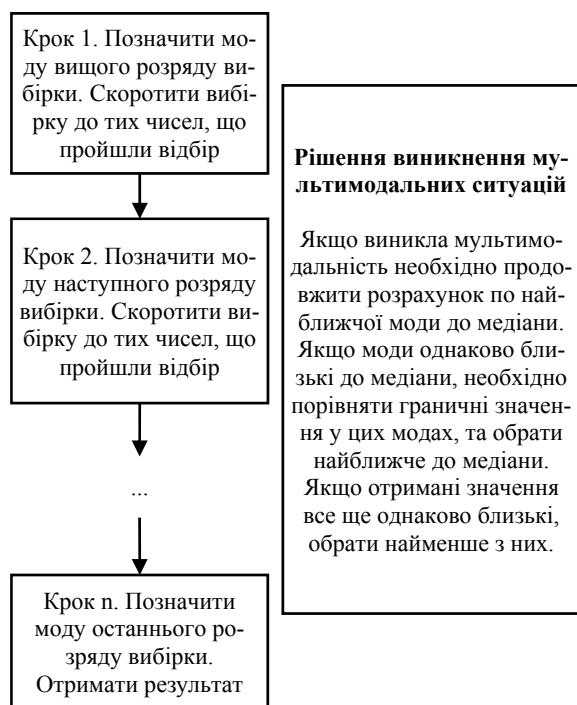


Рис. 6. Принцип роботи пороразрядної модально-медіанної методики розрахунку заробітної плати

Також можливі варіанти іншого вирішення мультимодальних ситуацій. Наприклад, визначення мінімальної або максимальної моди розряду. Всі варіанти показують дещо різну інформацію, тому користувачеві необхідно вибрати, який варіант використовувати, бо варіант з мінімальною модою буде більш націлений на бідне населення, так як фактично буде прагнути саме цього відрізка вирізки, в той час як варіант з максимальною модою – на багате населення. Однак обидва варіанти мають суттєвий недолік, а саме, якщо у наступному звітному періоді мультимодальності не виникне, то буде обрано моду, яка сильно відрізняється від тієї, що була обрана в базисному періоді, що загрожує неточністю порівняння статистичної інформації.

Пропонуємо використовувати саме медіанний варіант вирішення проблеми мультимодальності, тобто вибирати той розряд, який наближається до медіанного значення, бо на нашу думку цей варіант показуватиме більш точну інформацію, яка бере до уваги обидві боки вибірки за рівним пріоритетом, однак, якщо користувач вважає, що пріоритет має бути у значень вибірки, які знаходяться до або після медіани, то він може використати варіант з мінімальною модою розряду або максимальною відповідно. Це ставить питання розробки у майбутньому ситуаційної моделі оцінювання середньої заробітної плати.

Для наочної дії методу розрахунку заробітної плати подано довільну абстрактну вибірку і проведено розрахунок середньої заробітної плати за пороразрядним модально-медіанним методом у табл. 2. Цю вибірку підібрано, щоб наочніше продемонструвати порядок розрахунку, переваги та недоліки цієї моделі розрахунку та відмінності її від інших.

Спочатку необхідно перевірити, які значення надають розрахунки за іншими методами, що використовують у світовій практиці. У цій вибірці середньоарифметична зарплата дорівнюватиме 22864 грн., медіанна – 12361 грн., модальна – 9964 грн.

Так як сума різниць інтервалів значень, що стоять після медіани, більше, ніж тих, що стоять до медіани, то середня арифметична зарплата більша за медіану і таку зарплату не отримує 87,5% населення, а отримує лише 12,5%, що говорить про нездатність показника відігравати роль середнього, а лише як джерело додаткової інформації, яке в сукупності з медіаною здатне показати до якої зі сторін і наскільки сильно перекошено вибірку, в даному випадку в бік більш багатого населення.

Модальна зарплата в цьому випадку відбиває мінімальне значення, оскільки це єдина мода у вибірці. Саме таку зарплату отримує 25%, а вище за цей показник отримує 75% населення, тому модальний метод не відбиває адекватно середнє значення. Таким чином висунута гіпотеза експериментального методу розрахунку середньої заробітної плати показала свої переваги та можливу спроможність бути використаною у вирішенні завдання складання інтегрального показника рівня заробітної плати.

Використовуючи модель розрахунку, запропоновану автором, з вибірки бралися числа за розрядами, починаючи з найвищого та поступово опускаючись до нижчих, відкидаючи значення, які не пройшли відсіювання. У табл. 2 підкресленням вказується на розряд, що розглядається в певному кроці, а жирним шрифтом на обраний шлях рішення. Так, першим кроком було порівняння за розрядом сотень тисяч, у результаті якого модальним розрядом для подальшого рішення було обрано 0, оскільки більшість значень немає такого розряду. За таким же принципом був розрахований і другий крок, однак головна його відмінність від попереднього, що в цей раз було обрано число 1, як модальне, а значення 9964 були відкинуті, на відміну від модального методу, в якому це значення було рішенням.

Таблиця 2

Розрахунок середньої зарплатні запропонованим методом

Вибірка, грн.	9964	9964	11528	12358	12364	12374	14600	100000
Розряд 6	<u>00</u> 9964	<u>00</u> 9964	<u>01</u> 1528	<u>01</u> 2358	<u>01</u> 2364	<u>01</u> 2374	<u>01</u> 4600	<u>10</u> 0000
Розряд 5	<u>0</u> 9964	<u>0</u> 9964	<u>1</u> 1528	<u>1</u> 2358	<u>1</u> 2364	<u>1</u> 2374	<u>1</u> 4600	
Розряд 4			<u>1</u> 1528	<u>1</u> 2358	<u>1</u> 2364	<u>1</u> 2374	<u>1</u> 4600	
Розряд 3				<u>1</u> 2358	<u>1</u> 2364	<u>1</u> 2374		
Розряд 2				<u>1</u> 2358	<u>1</u> 2364	<u>1</u> 2374		
Результат				12358				

Таблиця 3

Використання модально-медіанного методу підрахунку на основі даних Держстату за вересень 2021 року

Регіон	Зарплата, грн.	Крок 1	Крок 2	Крок 3	Результат
Чернівецька	10976	10976			
Чернігівська	11497	11497	11497		
Херсонська	11512	11512	11512	11512	
Тернопільська	11532	11532	11532	11532	
Кіровоградська	11559	11559	11559	11559	11559
Волинська	11677	11677	11677		
Житомирська	11879	11879	11879		
Черкаська	11892	11892	11892		
Сумська	11966	11966	11966		
Одеська	12257	12257			
Закарпатська	12315	12315			
Івано-Франківська	12369	12369			
Хмельницька	12469	12469			
Луганська	12541	12541			
Харківська	12627	12627			
Вінницька	12690	12690			
Львівська	13018	13018			
Рівненська	13218	13218			
Полтавська	13293	13293			
Дніпропетровська	13768	13768			
Запорізька	14044	14044			
Миколаївська	14144	14144			
Київська	14678	14678			
Донецька	15148	15148			
м. Київ	20658				

Для вирішення необхідно використовувати методику, описану вище, а саме, вибрати найближчу до медіани моду розряду для подальшого вирішення. Проте, числа 12358 та 12364 розташовані від медіани на однаковому інтервалі, тому необхідно або зупинити розрахунок вибірки та визнати середньою заробітною платою 12300 грн., або продовжити розрахунок, використовуючи мінімальне з наявних значень, тобто 12358.

Як результат, результат за запропонованим автором методом 12358 грн., що на 3 грн. відрізняється від медіанного методу, однак, така маленька різниця між методами виникла через використання абстрактних значень, для надання наочності використання методу, а також через невелику кількість вихідних даних.

Ще один приклад використання запропонованої методики розрахунку можна показати за допомогою

даних Державної Статистики за вересень 2021 року, при припущенні, що всі області та м. Київ є однако-вими за кількістю населення і, відповідно, мають рівну питому вагу. Цього не буде у випадку викорис-тання реального показника, тому виконаємо лише імітацію його використання на практиці, оскільки для отримання даних має використовуватись реальні значення населення та показник зарплати, який отримує кожен громадянин. Рівна частка населення була встановлена в прикладі для спрощення розу-міння роботи моделі, так як встановлення додатко-вих вагових коефіцієнтів на реальній основі ввело б додаткову плутанину в розрахунки. Проте, підраху-нок середньої заробітної плати на підставі реальних показників доходів та частки населення буде мати свої вади у забезпеченні релевантності показника, тому це є одним із завдань наступних досліджень.

У табл. 3 подано порядок розрахунку за вихідних даних із сайту Держстату [28], але населення всіх областей та міста Київ було зрівняно для спрощення підрахунків і тому, що немає точних вихідних даних за кожним первісним значенням вибірки (тобто за окремою фізичною особою, яка отримує зарплату).

Так, у кроці 1 було визначено моду розряду десятків тисяч, яка дорівнює 1, у кроці 2 мода розряду тисяч склала 1, у кроці 3 виникла мультимодальність, тому було обрано найближче значення до медіани, та як наслідок – результат середньої заробітної плати по Україні склав 11559 грн. Для порівняння: середня арифметична за даною вибіркою дорівнює 12949 грн., медіана – 12469 грн., точну моду визначити неможливо, тому потрібно відкинути у значеннях одиниці, десятки та сотні, таким чином мода становитиме 11000 грн.

За розглянутими положеннями та прикладами можна дійти висновку, що спосіб порозрядного модально-медіанного розрахунку відрізняється від трьох основних способів: середньоарифметичного, медіанного і модального. Він ґрунтується на модальному методі розрахунку, однак порівнює моду кожного з розрядів, а також вдається до медіани, якщо необхідно вирішити мультимодальну ситуацію.

Головною перевагою цього методу є врахування особливості вибірки за відмінностями інтервалів значень, що знаходяться по різні боки медіани, тобто враховує несиметричність вибірки в один із боків, беручи за основу підрахунку частоту розрядів, що зустрічаються. Головним недоліком методу є його складність підрахунку в кілька кроків та етапів, на відміну від інших, які вирішуються досить просто (як приклад, кожен метод можна розрахувати однією формулою за допомогою Microsoft Excel). Однак, на сьогоднішній день ІТ в економіці використовується повсюдно, тому інтегрувати цю методику можна буде за допомогою того ж MS Excel або простого скрипта, написаного простою мовою програмування.

Висновки та шляхи подальшого дослідження. Підбиваючи підсумки, можна констатувати неспроможність існуючих інтегральних показників середньомісячної заробітної плати визначити одним значенням та надати користувачеві релевантної інформації про абсолютні значення у розподілі заробітної плати. Методи, що використовуються на даний момент, не в змозі відобразити повну кількість інформації, що закладається у вибірку, відповідно, використання їх є надієвим у національній економіці і має бути вдосконалено іншими методами. Використовувані методи підрахунку інтегрального показника заробітної плати базуються на існуючих методах розрахунку середнього значення вибірки, які виконують в одну дію. Простота їх використання не означає однозначно негативні наслідки, проте їхнє початкове широке використання почалося в часи не настільки розвинених комп'ютерних технологій, коли необхідно було дізнатися точний результат, викорис-

товуючи великий масив чисел, а виконувати вибір альтернативних операцій в послідовності кроків було скрутним для більшості користувачів. Однак жоден з існуючих методів не враховує інтервали між значеннями вибірки, які через її несиметричність свідчать про більшу вагу одного з боків вибірки, тобто переважання нерівності у бік багатого чи бідного населення.

Крім того, запропонований синтетичний показник не стає альтернативою вже існуючим показникам у сенсі їхньої заміни, а стає дериватною але узагальненою оцінкою, яка має бути однією «середньою заробітною платою» замість декілька показників з однаковою назвою але різних за значеннями та змістом. Це має значення для професійної спільноти економістів, оскільки у процесах комунікації використання загальної але омонімічної назви «середня заробітна платня» може додатково вводити в оману комунікантів та стати чинником утворення комунікаційно-наведених ризиків використання систем макроекономічних показників.

Висунута гіпотеза експериментального методу розрахунку середньої заробітної плати показала свою працездатність та ефективність у вирішенні поставленої проблеми. Знаходження її слабких та сильних сторін, а також її імплементація у сферу економічної діяльності, в якій ця методика використовується, є завданням майбутніх досліджень.

Література

1. Базилук А. В. Социальная защита населения / А. В. Базилук. – К.: Общество «Знание», 1992. – 100 с.
2. Вишневская Н. Т. Международные стандарты статистики заработной платы и практика их использования в развитых странах. Вопросы государственного и муниципального управления. 2018. № 1. С. 89-108.
3. Григорук П. М. Методи побудови інтегрального показника. Бізнес Інформ / П. М. Григорук, І. С. Ткаченко. Харків. 2012. № 4. С. 34-38.
4. Давидов, Г. М. Еволюція поглядів на зміст та концепції формування мінімальної заробітної плати / Г. М. Давидов, Н. С. Шалімова // Економічний простір : зб. наук. пр. - Дніпропетровськ : ПДАБА, 2012. – № 58. – С. 45-56.
5. Єсінова Н. І. Аспекти державного регулювання заробітної плати / Н.І. Єсінова // Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг: зб. наук. пр. / відпов. ред. В.А. Гросул. – Харків: ХДУХТ, 2021. – Вип. 1 (33). – С. 63-69.
6. Зенченко С. В., Бережной В. И. Система интегральной оценки финансового потенциала региона и методика ее формирования // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2008. – № 2. – С. 27-37.
7. Ключникова Е. В., Шитова Е. М. Методические подходы к расчету интегрального показателя, методы ранжирования // Электронный научно-практический журнал «ИнноЦентр». – 2016. – №1(10). – С. 4-18.
8. Корчинська О. О. Безумовний базовий дохід як інструмент управління бідністю. Інтелект ХХІ, 2018. № 2. С. 98-101.
9. Кривуля П. В. Родовая категория видового разнообразия систем показателей. Економіка. Менеджмент. Підприємництво. Зб. наук. праць Східноукраїнського на-

- ціонального університету імені Володимира Даля. 2008. №19 Ч. II. С. 52-81.
10. Кривуля П. В., Дорошко М. В. Система показателей оценки капитализации: достоверность альтернативных порядков информационной свёртки. Экономика. Менеджмент. Підприємництво. 36. наук. праць Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2007. №18 Ч. II. С. 70-85.
 11. Кулаков С. В. Deficit of Accessible House Land – Дефіцит землі для житлової забудови. Цілі сталого розвитку: проблеми і можливості досягнення в Україні та світі: матеріали IV всеукр. наук.-практ. конф. ЗВО та молодих вчених. Северодонецьк : СНУ ім. В. Даля, 2020. С. 150-152.
 12. Кулаков С. В. Актуальні проблеми та перспективи розвитку обліку, аналізу та контролю в соціально-орієнтованій системі управління підприємством : Матеріали IV всеукр. наук.-практ. конф. ч. 2. Полтава : Полтавська державна аграрна академія, 2021. С. 104-107.
 13. Мартинюк В. П. Оцінка стану національної економіки на основі інтегрального показника економічної безпеки держави. Экономика. Менеджмент. Підприємництво. 2013. №. 25 (1). С. 179-187.
 14. Остапчук Ю. М. Индекс споживчих цін: сприйняття та реальність : Посібник / За ред. Ю.М. Остапчука.//К.: Державний комітет статистики України. – 2006. 56 с.
 15. Пищулина О. М. Економічна модель «безумовного базового доходу»: нова соціальна альтернатива. Центр Разумкова. URL: http://razumkov.org.ua/upload/1456388199_file.pdf.
 16. Пономаренко В. С. Структура визначення інтегрального показника системної ефективності розвитку підприємства. Экономика развития / В. С. Пономаренко, I. В. Гонтарева. 2012. №1. С. 86-94.
 17. Прохорова В. В. Методичні основи побудови інтегральних та рейтингових оцінок економічних систем. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2009. №. 28. С. 54-59.
 18. Прохоровська С. А. Значення доходів у процесі розвитку трудового потенціалу регіону. Соціально-трудова сфера: теорія і практика. № 2 (8). К.: КНЕУ, 2014. С. 229-235.
 19. Ревко А. М. Купівельна спроможність заробітної плати як базис розвитку людського потенціалу/ А. М. Ревко // Науковий вісник Ужгородського університету : Серія: Экономика / ред. кол. : В.П. Міклова, В. І. Ярема, В.О. Приходько та ін. – Ужгород : Видавництво УжНУ "Говерла", 2014. – Вип. 1 (42). – С. 287-294.
 20. Ржаницына Л. С. Доходы: уровень, дифференциация, гарантии / Л. С. Ржаницына. – М.: Профиздат, 1991. – 158 с.
 21. Романова Т. В. Інтегральні показники оцінювання структурних зрушень в економіці / Т.В. Романова // Экономика і регіон. – 2016. – № 6. – С. 20-27.
 22. Сафонов А. В. Минимальная заработная плата и минимальный потребительский бюджет / А. В. Сафонов. // Человек и труд. - 1993. - №4. - С.17-20.
 23. Ставицький А. В. Застосування концепції безумовного доходу в економіці України. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Экономика, 2016. № 1 (178). С. 29-34
 24. Шевчук С. В. Конституційний захист соціальних виплат як права власності: порівняльно-правовий аналіз. Філософія права і загальна теорія права, 2012. № 2. С. 216-233.
 25. Шютте Г. Г. Тарифная часть заработной платы и ее роль в организации заработной платы / Г. Г. Шютте. // Структура заработной платы в промышленности стран-членов СЭВ. Сборник научных трудов. Под ред. М.Г.Мошенского, - М.: НИИтруда, 1972. – С.161-170.
 26. Яковлев Р. Парадоксы реформирования оплаты труда / Р. Яковлев. // Человек и труд. – 1993. - №4. – с.52-58.
 27. Ринок праці: заробітна плата. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/imf/meta/Zarpl.html>
 28. Середня заробітна плата за регіонами за місяць. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/gdn/reg_zp_m/reg_zpm_u/arh_zpm_u.htm

References

1. Bazilyuk A. V. Social'naya zashchita naseleniya / A. V. Bazilyuk. – K.: Obshchestvo «Znanie», 1992. – 100 s.
2. Vishnevskaya N. T. Mezhdunarodnye standarty statistiki zarabotnoj platy i praktika ih ispol'zovaniya v razvityh stranah. Voprosy gosudarstvennogo i municipal'nogo upravleniya. 2018. №. 1. S. 89-108.
3. Grigoruk P. M. Metodi pobudovi integral'nogo pokaznika. Biznes Inform / P. M. Grigoruk, I. S. Tkachenko. Harkiv.2012. № 4. S. 34-38.
4. Davidov, G. M. Evolyuciya poglyadiv na zmist ta koncepciyi formuvannya minimal'noyi zarobitnoyi plati / G. M. Davidov, N. S. Shalimova // Ekonomichnij prostir : zb. nauk. pr. - Dnipropetrovs'k : PDABA, 2012. – № 58. – S. 45-56.
5. Yesinova N. I. Aspekti derzhavnogo reguluvannya zarobitnoyi plati / N.I. Yesinova // Ekonomichna strategiya i perspektivi rozvitku sferi torgivli ta poslug: zb. nauk. pr. / vidpov. red. V.A. Grosul. – Harkiv: HDUHT, 2021. – Vip. 1 (33). – S. 63-69.
6. Zenchenko S. V., Berezhnoj V. I. Sistema integral'noj ocenki finansovogo potenciala regiona i metodika ee formirovaniya // Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki. – 2008. – №. 2. – S. 27-37.
7. Klyushnikova E. V., SHitova E. M. Metodicheskie podhody k raschetu integral'nogo pokazatelya, metody ranzhirovaniya // Elektronnyj nauchno- prakticheskij zhurnal «InnoCentr». – 2016. – №1(10). – S. 4-18.
8. Korchins'ka O. O. Bezumovnij bazovij dohid yak instrument upravlinnya bidnistyu. Intelekt XXI, 2018. № 2. S. 98-101.
9. Krivulya P. V. Rodovaya kategoriya vidovogo raznoobraziya sistem pokazatelej. Ekonomika. Menedzhment. Pidpriyemnictvo. Zb. nauk. prac' Skhidnoukrayins'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalya. 2008. №19 CH. II. S. 52-81.
10. Krivulya P. V., Doroshko M. V. Sistema pokazatelej ocenki kapitalizacii: dostovernost' al'ternativnyh poryadkov informacionnoj svyortki. Ekonomika. Menedzhment. Pidpriyemnictvo. Zb. nauk. prac' Skhidnoukrayins'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalya. 2007. №18 CH. II. S. 70-85.
11. Kulakov E. V. Deficit of Accessible House Land – Deficit zemli dlya zhitlovoyi zabudovi. Cili stalogo rozvitku: problemi i mozhlivosti dosyagnennya v Ukrayini ta sviti: materiali IV vseukr. nauk.-prakt. konf. ZVO ta molodih vchenih. Severodonec'k : SNU im. V. Dalya, 2020. S. 150-152.
12. Kulakov E. V. Aktual'ni problemi ta perspektivi rozvitku obliku, analizu ta kontrolyu v social'no-orijentovaniy sistemi upravlinnya pidpriyemstvom : Materiali IV vseukr.

- nauk.-prakt. konf. ch. 2. Poltava : Poltavs'ka derzhavna agrarna akademiya, 2021. S. 104-107.
13. Martynyuk V. P. Ocinka stanu nacional'noyi ekonomiki na osnovi integral'nogo pokaznika ekonomichnoyi bezpeki derzhavi. *Ekonomika. Menedzhment. Pidpriyemnistvo*. 2013. № 25 (1). S. 179-187.
 14. Ostapchuk YU. M. Indeks spozhivchih cin: sprijnyattya ta real'nist' : Posibnik / Za red. YU.M. Ostapchuka.//K.: Derzhavnij komitet statistiki Ukraini. – 2006. 56 s.
 15. Pishchulina O. M. Ekonomichna model' «bezumovного базового доходу»: nova social'na al'ternativa. Centr Razumkova. URL: http://razumkov.gov.ua/upload/1456388199_file.pdf.
 16. Ponomarenko V. S. Struktura viznachennya integral'nogo pokaznika sistemnoyi efektyvnosti rozvitku pidpriyemstva. *Ekonomika rozvitku* / V. S. Ponomarenko, I. V. Gontareva. 2012. №1. S. 86-94.
 17. Prohorova V. V. Metodichni osnovi pobudovi integral'nih ta rejtingovih ocnok ekonomichnih sistem. *Visnik ekonomiki transportu i promislivosti*. 2009. № 28. S. 54-59.
 18. Prohorovs'ka S. A. Znachennya dohodiv u procesi rozvitku trudovogo potencialu regionu. *Social'no-trudova sfera: teoriya i praktika*. № 2 (8). K.: KNEU, 2014. S. 229–235.
 19. Revko A. M. Kupivel'na spromozhnist' zarobitnoyi plati yak bazis rozvitku lyuds'kogo potencialu/ A. M. Revko // *Naukovij visnik Uzhgorod'skogo universitetu* : Seriya: *Ekonomika* / red. kol. : V.P. Miklova, V. I. YArema, V.O. Prihod'ko ta in. – Uzhgorod : Vidavnistvo UzhNU "Goverla", 2014. – Vip. 1 (42). – S. 287-294.
 20. Rzhaniyana L. S. Dohody: uroven', differenciatsiya, garantii / L. S. Rzhaniyana. – M.: Profizdat, 1991. – 158 s.
 21. Romanova T. V. Integral'ni pokazniki ocinyuvannya strukturnih zrushen' v ekonomici / T.V. Romanova // *Ekonomika i region*. – 2016. – № 6. – S. 20-27.
 22. Safonov A. V. Minimal'naya zarabotnaya plata i minimal'nyj potrebitel'skij byudzhet / A. V. Safonov. // *CHelovek i trud*. - 1993. - №4. - C.17-20.
 23. Stavic'kij A. V. Zastosuvannya koncepciyi bezumovного доходу v ekonomici Ukraini. *Visnik Kiyivs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa SHEvchenka*. *Ekonomika*, 2016. № 1 (178). S. 29–34
 24. Shevchuk S. V. Konstitucijnij zahist social'nih viplat yak prava vlasnosti: porivnyal'no-pravovij analiz. *Filosofiya prava i zagal'na teoriya prava*, 2012. № 2. S. 216–233.
 25. Shyutte G. G. Tarifnaya chast' zarabotnoj platy i ee rol' v organizacii zarabotnoj platy / G. G. Shyutte. // *Struktura zarabotnoj platy v promyshlennosti stran-chlenov SEV. Sbor nik nauchnyh trudov*. Pod red. M.G.Moshenskogo, - M.: NIItroda, 1972. – S.161-170.
 26. Yakovlev R. Paradoksy reformirovaniya oplaty truda / R. YAkovlev. // *CHelovek i trud*. – 1993. - №4. – s.52-58.
 27. Rinok praci: zarobitna plata. [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua/imf/meta/Zarpl.html>
 28. Serednya zarobitna plata za regionamu za misyac'. [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/gdn/reg_zp_m/reg_zpm_u/arh_zpm_u.htm

Kulakov E.V., Krivulia P. V. Development of integral indicators of the average monthly income as an element of life quality macroeconomic metrics.

The article examines relevance of development of integral indicators of the average monthly income as an element of the quality of life system in the region and in Ukraine in general in market-oriented economy, a comparative analysis of existing models for calculating the average wage was carried out and an example of a possible solution to the problem was given. The theoretical base of domestic and foreign scientists on the topic of integral indicators, the features of their use and functioning in the economy was considered. The possibility of using the Liebig and Shelford indicators, which limit the marginal efficiency of integral indicators in the economy as a whole was also considered in the study. The statistical information of the average wage in Ukraine for September 2021 was considered, illustrative material was presented in tabular form, on the basis of which an experiment was carried out using the method of calculating wages proposed by the author, according to which the result of the study was obtained and the corresponding conclusions were drawn. The use of all existing methods for calculating the average wage at the macro level, together with the method proposed by the author for comparing the information received was suggested. The task of subsequent studies is to test the hypothesis on the data of the State Statistics Service, taking into account the share of the population of the regions and to compare with existing methods. Continue to study the differences in sampling intervals, as a bias to one of the sides of the sample, to indicate the strength of crowding of the poor or rich population, which has an impact on obtaining information from the general sample. Continue to study the relationship between the existing and the proposed methodology for calculating the average wage for unification into one integral indicator, which can reflect the entire essence of the sample. The proposed synthetic indicator does not pretend to be an alternative to existing indicators and replace them. Proposed synthetic indicator becomes a derivative generalized assessment with the universal name instead of several indicators with the same name, but different in meaning and content. This should exclude the use of a homonymous name in the processes of professional communication, prevent the confusion of communicators and the formation of part of the communication-induced risks of using of macroeconomic metrics.

Key words: average value, income, limiting factors, integral indicators, mean value, median, mode, population, wage.

Кулаков Єгор Валерійович — здобувач вищої освіти Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля., м. Сєверодонецьк.

Кривуля Павло Вікторович, — к.е.н., доц., доцент кафедри економіки і підприємництва Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля., м. Сєверодонецьк.

Стаття подана 12.01.2022.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-271-1-78-82>

УДК 336.67

ФІНАНСОВЕ УПРАВЛІННЯ І АНАЛІЗ ПРИБУТКОМ ІНЖИНІРИНГОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Серета О.О., Кушал І.М.

FINANCIAL MANAGEMENT AND ANALYSIS PROFIT OF ENGINEERING ENTERPRISES

Sereda O.O., Kushal I.M.

Стаття присвячена актуальним питанням фінансового управління прибутком інжинірингових підприємств. Метою дослідження є розвиток теоретико-прикладних положень щодо управління прибутком інжинірингових підприємств. В проведених дослідженнях використані методи співставлення, системного та аналітичного підходів, дедукції, діалектичної і формальної логіки. Визначено сутність та виокремлено відмінні риси інжинірингових послуг, які полягають у нематеріальності, корисному ефекті, виробничому та комерційному характері, професійності та інноваційності. Перевагою запропонованого методичного забезпечення управління прибутковістю є врахування специфіки фінансової діяльності таких підприємств: наявність широкої номенклатури та типів послуг, диференціація послуг інжинірингу залежно від масштабів діяльності та попиту на послуги, різний рівень рентабельності окремих послуг. Доведено, що для управління витратами інжинірингового підприємства найбільш прийнятними є ABC – метод та операційний аналіз. Встановлено послідовність поетапної реалізації моделі беззбитковості, яка враховує особливості діяльності інжинірингових підприємств. З метою оперативного управління запропоновано впровадження моніторингу «витрати – доходи – прибуток» та сформовано систему аналітичних показників з метою оцінки тенденцій зміни минулого та поточного рівня прибутковості, а також прогнозування зміни прибутку в залежності від доходів та витрат на основі сценарного підходу. Надано рекомендації щодо оптимізації доходів інжинірингового підприємства на основі механізму ціноутворення, який враховує фактори, пов'язані з інжинірингом (час, інноваційність, масштаби діяльності потенційного замовника, кількість осіб, що володітимуть новими знаннями) та вибір метода встановлення ціни. Обґрунтовано критерії вибору інструментів стратегічного управління прибутком інжинірингового підприємства, пріоритетним обрано модель економічної доданої вартості. Розвиток теоретико-прикладних положень щодо управління прибутком інжинірингових підприємств має практичну спрямованість, результати можуть бути використані для розвитку інжинірингових підприємств.

Ключові слова: управління прибутком, інжинірингові послуги, операційний аналіз, ABC-метод, моніторинг, прибутковість.

Вступ. Одним з визначальних завдань перебудови економіки України на сучасному етапі є інноваційна модернізація виробництва. При цьому умовою її успішності виступає стабільне функціонування підприємств, що здійснюють інжинірингові послуги. Ця вимога підтверджується зарубіжним досвідом, тому що інжинірингові підприємства складають важливу частину інфраструктури інноваційної діяльності, значною мірою забезпечуючи її результативність. Функціонування підприємств тісно пов'язано з управлінням прибутку, ефективність якого є одним із найважливіших факторів забезпечення фінансової стабільності та подальшого розвитку. Особливість діяльності інжинірингових підприємств пов'язана із наданням замовникам широкого спектру послуг з дослідницького, проектно-конструкторського, розрахунково-аналітичного характеру та навчання персоналу. Вище зазначене потребує розв'язання проблем фінансового управління прибутком на основі сучасного теоретико-методичного забезпечення, яке дозволить враховувати особливості операційної діяльності інжинірингових підприємств.

Питання управління прибутком підприємств були предметом дослідження таких вчених, як Бабяк Н.Д. [1], Бланк І.А., Вахович І. М. [2], Геворкян А., Єпіфанова І. Ю.[3], Жигалевич Ж.М., Іванюк К. Б. [1], Мартиненко В.П. [4], Поддєрьогін А.М. [5], Ярова Л.Г. Значний внесок у розвиток теоретико-прикладних положень щодо ціноутворення, визначення доходів та оцінки проектів в інжиніринговій діяльності внесли науковці: Городиська Н. А. [6], Жежуха В. Й.[6], Кащишин В. М. [7], Кузьмін О. Є. [6]. Однак, незважаючи на наявність значної кількості робіт щодо управління прибутком, недостатньо дослідженими залишаються проблеми фінансового управління прибутком інжинірингових підприємств.

Метою статті є розвиток теоретико-прикладних положень щодо фінансового управління прибутком інжинірингових підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сучасній інтерпретації сфера інжинірингових послуг містить не тільки чисто інженерні роботи, а й сукупність послуг комерційного і науково-технічного характеру. У Податковому кодексі України [8, ст. 14] визначено, що «інжиніринг - це надання послуг (виконання робіт) із складення технічних завдань, проєктних пропозицій, проведення наукових досліджень і техніко-економічних обстежень, виконання інженерно-розвідувальних робіт з будівництва об'єктів, розроблення технічної документації, проєктування та конструкторського опрацювання об'єктів техніки і технології, надання консультацій та авторського нагляду під час монтажних та пусконаладжувальних робіт, а також надання консультацій, пов'язаних із такими послугами (роботами)». Зазначені професійні дії є об'єктом купівлі-продажу на ринку інжинірингових послуг.

Інжиніринговим послугам притаманні відмінні риси, характерні для нетоварних продуктів [7, 9, 10]:

1) нематеріальність, тобто не мають матеріальної форми; втілюються в корисному ефекті з використанням матеріального носія (проєктно-конструкторська документація, бізнес-плани) або без матеріального носія (консультування);

2) виробничий характер внаслідок спрямування на створення виробничих або невиробничих об'єктів, поліпшення їх використання, збільшення обсягів реалізації продукції;

3) комерційний характер, тому що стають об'єктом купівлі-продажу;

4) можуть відтворюватися (тиражуватися), чим відрізняються від ліцензій та ноу-хау.

5) професійність послуги, яка надається фахівцем у сфері інжинірингу;

6) творчий характер послуги, надання якої вимагає від фахівця креативності мислення, нестандартності, інноваційності підходів у вирішенні завдань, які ставить перед ним замовник.

На основі зазначених відмінностей інжинірингу від виробничої діяльності необхідно визначити можливі напрямки використання фінансового управління прибутком стосовно інжинірингових підприємств. При цьому, методичне забезпечення та застосування інструментарію управління прибутком на інжинірингових підприємствах має суттєві особливості, зумовлені такими факторами.

1. Наявність широкої номенклатури і типів послуг, що обумовлює диверсифікацію діяльності [7]:

- інжиніринг щодо підготовки виробництва (передпроєктні, проєктні, післяпроєктні і спеціальні послуги);

- роботи щодо оптимізації процесів експлуатації та консультування, пов'язане з їх оптимізацією;

- комплексний інжиніринг передбачає надання всього спектру послуг від обстеження та проєктування до реалізації проєкту, забезпечення різними технологіями та інноваціями, обладнанням, повний супровід всіх робіт з передачі об'єкта в експлуатацію та організації виробничого процесу;

- інжиніринговий консалтинг, сутність якого проявляється у консультуванні, вимагає від підприємства залучення професійних трудових ресурсів.

2. Наявність різноманітних видів послуг залежить від організаційно-правової форми інжинірингового підприємства, масштабів його діяльності та рівня попиту на послуги.

3. Різний рівень рентабельності послуг, що надаються інжиніринговими підприємствами, потребує постійного контролю та управління прибутковістю кожного виду послуг.

Ефективне управління прибутком інжинірингових підприємств потребує відповідного інструментарію, який би дозволив аналізувати прибутковість, планувати витрати, доходи, прибутки. Тому розглянемо особливості застосування методів управління прибутковістю на інжинірингових підприємствах.

Вибір раціонального методу управління витратами є ключовим завданням управління прибутком на кожному підприємстві. В «управлінні витратами найпоширенішими є наступні методи: ABC - метод, кайзен-костинг, таргет-костинг, абзорпшн-костинг, CVP-аналіз, кост-кліринг» [11]. Для управління витратами інжинірингового підприємства найбільш придатними є ABC – метод та CVP-аналіз. ABC-метод припускає розподіл, калькулювання, контроль і планування накладних витрат по процесах. З цієї метою використовується «система диференційованих баз розподілу, що дозволяє економічно обґрунтовано розподіляти накладні витрати у різноманітних аспектах» [12]. Оскільки основним видом діяльності інжинірингових підприємств є надання послуг, частка накладних витрат буде високою і такий розподіл витрат дозволяє аналізувати собівартість кожного продукту. Цей метод не знаходить широкого застосування в результаті складності переходу від існуючої системи управління витратами.

Концепція CVP-аналізу базується на співвідношенні «витрати – дохід – операційний прибуток», що є основою для прийняття управлінських рішень щодо планування прибутку. Під час проведення операційного аналізу слід врахувати проблему можливості сезонних коливань попиту (що пов'язано зі зниженням активності будівництва у зимовий період) на інжинірингові послуги. Дане обмеження віддзеркалюється у періодичності проведення операційного аналізу, а також при створенні інформаційної бази на інжинірингових підприємствах.

На основі концепції беззбиткової діяльності у системі управління прибутковістю підприємства поетапно реалізується модель беззбитковості:

На першому етапі здійснюється диференціація витрат на умовно-постійні та умовно-змінні, спрямована на оптимізацію їх рівня, і як наслідок – забезпечення високих темпів розвитку операційної діяльності. Це сприяє зростанню потенціалу формування операційного прибутку як цілеспрямоване управління умовно-постійними та умовно-змінними витратами, зміна їх співвідношення при мінливих умовах розвитку. Підприємство з урахуванням виду економічної діяльності встановлює номенклатуру

витрат за конкретними видами окремих статей собівартості. Відповідно до П(С)БО 16 [13] виробнича собівартість робіт та послуг обчислюється за такими ж правилами, що й собівартість на виробничому підприємстві. У межах кожної із встановлених статей собівартості підприємству доцільно організовувати управлінський облік операційних витрат, що забезпечує ефективне управління ними.

До умовно-постійних належать витрати, пов'язані з управлінням підприємства, а також витрати на забезпечення господарських потреб власного виробництва. Для інжинірингового підприємства – це переважно більшість з переліку загальногосподарських та адміністративних витрат: витрати на оплату праці працівників апарату управління, витрати на оренду та утримання основних фондів, амортизаційні відрахування, витрати на оренду каналів зв'язку тощо). Умовно-змінні витрати включають ті види витрат, загальна величина яких знаходиться в безпосередній залежності від обсягу виконаних робіт. Величина цих витрат залежить також від економії матеріальних і трудових витрат у результаті проведення раціоналізації. До умовно-змінних витрат інжинірингових підприємств відносять витрати на: сировину, матеріали, покупні вироби, паливо, технологічну енергію, оплату праці, відрядження та премії основних працівників, транспортні витрати тощо. Представлений поділ витрат сприяє реалізації механізму управління прибутком на основі операційного левериджу.

На другому етапі визначається вплив операційного левериджу на зміни операційного прибутку. Співвідношення умовно-постійних та умовно-змінних витрат підприємства впливають на операційний прибуток через механізм операційного левериджу, що характеризується коефіцієнтом операційного левериджу.

Показник «ефект операційного левериджу» відображає співвідношення приросту операційного прибутку та приросту доходу. На основі цього показника здійснюють планування операційного прибутку на основі прогнозованих значень приросту доходу при відповідному коефіцієнті операційного левериджу. Слід зазначити, що в залежності від цілей аналізу визначення показника ефекту операційного левериджу може мати різні модифікації. Так, з позиції управління маржинальним прибутком підприємства ефект операційного левериджу визначається на основі таких співвідношень: «приріст маржинального прибутку до приросту доходу» або «приріст маржинального прибутку до приросту операційного прибутку».

Застосування маржинального прибутку додатково до показника операційного прибутку дозволяє більш точно оцінити прибутковість окремих господарських операцій і усунути невизначеність у її оцінці при обґрунтуванні управлінських рішень. Розглядаючи маржинальний прибуток як проміжний фінансовий результат, його можна оцінювати на основі зіставлення доходу і прямих витрат, що дозволяє уникнути розподілу непрямих витрат і спотворення величини економічного ефекту від окремих операцій.

Для цілей управління витратами і результатами інжинірингового підприємства пропонується застосовувати групування маржинального прибутку за таким принципом: маржинальний дохід сектору (підрозділу), маржинальний дохід за певними послугами, маржинальний дохід у цілому по підприємству.

На третьому етапі визначається точка беззбитковості та запас фінансової безпеки, розробляються рекомендації та заходи, приймаються управлінські рішення щодо прибутковості підприємства.

Оперативне управління прибутковістю підприємства має передбачати контроль витрат та своєчасне прийняття управлінських рішень. З цією метою на інжинірингових підприємствах доцільним є впровадження системи моніторингу «витрати – доходи – прибуток», яка на основі індикаторів прибутковості та операційного аналізу дозволить планувати прибуток та потреби у фінансових ресурсах (табл.).

Таблиця

Формування системи аналітичних показників моніторингу прибутковості інжинірингових підприємств

Доходи, прибутки	Витрати
Вхідні параметри	
Кількість інжинірингових продуктів Ціни на інжинірингові продукти Ціни на матеріали, енергоресурси, транспорт тощо	Витрати за секторами Витрати за видами продуктів Витрати за статтями калькуляції
Індикатори факторів прибутковості	
Дохід від реалізації Маржинальний прибуток Операційний прибуток Приріст операційного прибутку Маржинальний прибуток на одиницю доходу Операційний прибуток на одиницю доходу	Умовно-змінні витрати Умовно-постійні витрати Загальні витрати Співвідношення умовно-постійних та умовно-змінних витрат Співвідношення та умовно-змінних витрат та доходу Коефіцієнт витратоємності Коефіцієнт витратовіддачі
Операційний аналіз беззбитковості на основі сценарного підходу	
Коефіцієнт операційного левериджу Ефект операційного левериджу Поріг рентабельності Запас фінансової безпеки	

Ціна інжинірингових послуг пов'язана із замовником послуг та його інтересами, очікуваннями у вигляді матеріальних та нематеріальних благ. У цьому випадку класичне співвідношення «ціна - якість» трансформується в співвідношення «ціна – якість, яка сприймається», наслідком перевищення ціни інжинірингових продуктів призводить до втрати клієнтів. На ціну інжинірингової послуги впливають

грошові та негрошові фактори. Складовими негрошової ціни можуть бути наступні фактори, пов'язані з інжинірингом:

час, особливо для інжинірингового консультування;

інноваційність інжинірингової послуги, яка вимірюється ступенем новизни запропонованого фахівцями рішення проблем замовника;

масштаби діяльності потенційного замовника [6];

кількість осіб, що володітимуть новими знаннями [6].

В практиці ціноутворення використовують дохідний, витратний, аналоговий підходи. Слід враховувати, що при перевищенні вартості послуг вигід замовника договірні відносини не будуть укладені. Для визначення ціни інжинірингових продуктів доцільно використовувати принципи дохідного підходу, що дозволить порівнювати реальний прибуток замовника та ціну інжинірингових послуг.

Стратегічне управління прибутком підприємств забезпечує досягнення стратегічних фінансових цілей шляхом синтезу процесів управління капіталом та формування прибутку. Вибір інструментів стратегічного управління прибутком інжинірингових підприємств залежить від функціональних завдань, масштабу та номенклатури послуг. Виходячи з того, що розглядається діяльність великих та середніх підприємств, пропонується використання вартісної моделі економічна додана вартість (EVA) як узагальнюючого критерію прийняття управлінських рішень. Використання EVA дозволяє здійснити комплексну оцінку на основі показників прибутку, величини капіталу і кон'юнктури і очікувань фінансового ринку (вартість капіталу). Позитивна динаміка EVA повна повинно базуватися на оптимальному поєднанні доходів, витрат та інвестованому капіталі. До переваг запропонованого методичного підходу щодо стратегічного управління прибутковістю інжинірингових підприємств можна віднести наступне:

EVA є інструментом для вимірювання прибутку;

EVA оцінює доходи і одночасно враховує зміну капіталу, використаного для отримання цих доходів;

дозволяє визначити необхідний обсяг доходів, щоб отримати заданий рівень EVA;

можна визначити запас економічної доданої вартості, показники рентабельності за EVA, темпи зростання EVA до капіталу та доходу від реалізації.

Отже, управління прибутком підприємств повинно бути спрямовано на максимізацію позитивного фінансового результату. Для забезпечення прибутковості інжинірингового підприємства необхідно використовувати адаптований методичний інструментарій стратегічного і оперативного управління.

Висновки. Успішне функціонування підприємств залежить від якості рішень щодо управління прибутком. Перевагою запропонованого методичного забезпечення управління прибутковістю є врахування специфіки фінансової діяльності таких підприємств: наявність широкої номенклатури та типів послуг, диференціація послуг інжинірингу залежно

від масштабів діяльності та попиту на послуги, різний рівень рентабельності окремих послуг. Дослідження доводить, що для управління витратами інжинірингового підприємства найбільш прийнятними є ABC – метод та операційний аналіз. Обґрунтовано послідовність поетапної реалізації моделі беззбитковості, яка враховує особливості діяльності інжинірингових підприємств. З метою оперативного контролю управлінських рішень запропоновано впровадження моніторингу «витрати – доходи – прибуток» та сформовано систему аналітичних показників з метою оцінки тенденцій зміни минулого та поточного рівня прибутковості, а також прогнозування зміни прибутку в залежності від доходів та витрат на основі сценарного підходу. Подальший розвиток методичного забезпечення управління прибутком спрямовано на розробку рекомендацій щодо оптимізації доходів інжинірингового підприємства через механізм ціноутворення. Розвиток теоретико-прикладних положень щодо управління прибутком інжинірингових підприємств має практичну спрямованість, результати можуть використовуватися для розвитку інжинірингових підприємств.

Перспективи подальших досліджень повинні полягати у вирішенні проблеми управління прибутком на основі оптимізації портфеля інжинірингових проєктів та послуг.

Література

1. Бабяк Н.Д., Іванюк К. Б. CVP-аналіз: традиційний та управлінський підходи. *Бізнес Інформ*. 2015. № 8. С. 272–276.
2. Вахович І. М., Волинчук Ю. В. До питання управління фінансово-економічними результатами підприємства. *Економічний форум*. 2015. № 3. С. 275–279.
3. Спіфанова І. Ю. Гуменюк В. С. Прибутковість підприємства: сучасні підходи до визначення сутності. *Економіка та суспільство*. 2016. Вип. 3. С. 189–192. URL: <http://economyandsociety.in.ua>
4. Мартиненко В.П., Кушик І.Л. Резерви вдосконалення управління процесом формування прибутковості на сільськогосподарському підприємстві. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2017. Вип. 20. С. 432–435.
5. Поддєрьогін А. М., Джуфер Д. Б. Управління прибутком підприємства. *Збірник наукових праць Університету державної фіскальної служби України*. 2019. Вип. 2. С. 211–223. <https://doi.org/10.33244/2617-5940.2.2019.211-223>
6. Кузьмін О. Є., Жежуха В. Й., Городиська Н. А. Установлення верхньої межі доходу інжинірингової компанії від реалізації інжинірингових проєктів. *Бізнес Інформ*. 2014. № 9. С. 215–218.
7. Кащишин В. М. Економічне оцінювання та обґрунтування інжинірингових проєктів машинобудівних підприємств, дис... к.е.н., 08.00.04, Львів. 2018.
8. Податковий кодекс України від 02.12.2010 р. № 2755-VI (2755-17). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text>
9. Цивільний кодекс України від 16 січня 2003 року № 435-IV (станом на 19.12.2021 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text>

10. Коюда В.О. Сутність та змістовна характеристика послуги як бази управління. *Економіка та суспільство*. 2017. № 9. С. 473-478. URL: <http://www.economyandsociety.in.ua>.
11. Ляшко І.І., Єременко О.М. Дослідження методів управління витратами на сучасних підприємствах. *Східна Європа: Економіка, бізнес та управління*. 2016. №4. С.161-166.
12. Карпенко Ю.В. Процесно-орієнтоване управління витратами виробничого підприємства. *Економіка: реалії часу*. 2016. №3(25), С. 161-167.
13. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16. Витрати. Наказ Міністерства фінансів України від 31.12.1999 № 318. URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0027-00.

References

1. Babiak N.D., Ivaniuk K. B. (2015). CVP-analiz: tradytsiyni ta upravlinnyi pidkhody [CVP-analysis, and traditional management approaches]. *Biznes Inform.* Vol. 8, pp. 272-276.
2. Vakhovich I.M., Volynchuk Yu. V. (2015). Do pytannia upravlinnia finansovo-ekonomichnymy rezultaty pidpriemstva [To the question of management of financial and economic results of the enterprise]. *Economic Forum*. No 3, pp. 275-279.
3. Jepifanova I. Ju., V. S. Ghumenjuk. (2016.). [Profitability of the enterprise: modern approaches to the definition of the essence]. *Economy and society*. Vol. 3, pp. 189-192. Available at: <http://economyandsociety.in.ua>
4. Martynenko V.P., Kushyk I.L. (2017). Rezervy vdoskonalennia upravlinnia protsesom formuvannia prybutkovosti na silskohospodarskomu pidpriemstv. [Reserves for improving the process for preparation for property on agricultural enterprise]. *Hlobalni ta natsionalni problem ekonomiky*. No 20, pp. 432-435.
5. Poddierohin A. M., Dzhufur D. B. (2019). Upravlinnia prybutkom pidpriemstva. [Enterprise profit management]. *Zbirnyk naukovykh prats Universytetu derzhavnoi fiskalnoi sluzhby Ukrainy*. No. 2. pp. 211-223. <https://doi.org/10.33244/2617-5940.2.2019.211-223>
6. Kuzmin O. Ye., Zhezhukha V. Yo. and Gorodyska N. A. (2014). Ustanovlennia verkhnoi mezhi dokhodu inzhnirynhovoï kompanii vid realizatsii inzhnirynhovykh proektiv [Setting the Upper Limit of the Income of an Engineering Company from the Marketing of Engineering Projects]. *Biznes Inform.* No. 8, pp. 215-218.
7. Kashchysyn V. M. (2018). Ekonomichne otsiniuvannia ta obgruntuvannia inzhnirynhovykh proektiv mashynobudivnykh pidpriemstv [Economic assessment and substantiation of engineering projects of machine-building enterprises], dys... k.e.n., 08.00.04, Lviv.
8. Tax Code of Ukraine of 02.12.2010 p. № 2755-VI (2755-17). Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text>
9. Civil Code of Ukraine of January 16, 2003 № 435-IV. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text>
10. Koyuda V. O. (2017). Sutnist ta zmistovna kharakterystyka posluhy yak bazy upravlinnia [The essence and content characteristics of the service as a management base]. *Economy and society*. No 9, pp. 473-478. Available at: <http://www.economyandsociety.in.ua/> [in Ukrainian].

11. Liashko I.I., Yermenko O.M. (2016). Doslidzhennia metodiv upravlinnia vytratamy na suchasnykh pidpriemstvakh. [Research methods of cost management for modern enterprises]. *Skhidna Yevropa: Ekonomika, biznes ta upravlinnia*. No 4. pp.161-166.
12. Karpenko Yu.V. (2016). Protsešno-orієntovane upravlinnia vytratamy vyrobnychoho pidpriemstva. [Process-oriented production enterprise cost management]. *Economics: timereality*. No 3(25), pp.161-167.
13. Accounting regulations (standard) 16. Expenses. Order of the Ministry of Finance of Ukraine of 31.12.1999 № 318. zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0027-00

Sereda O.O., Kushal I.M. Financial management and analysis profit of engineering enterprises.

The article is devoted to topical issues of financial management of profits of engineering enterprises. The purpose of the study is to develop theoretical and applied provisions for the management of profits of engineering enterprises. The research used methods of comparison, systematic and analytical approaches, deduction, dialectical and formal logic. The essence and distinctive features of engineering services, which are intangible, useful effect, production and commercial nature, professionalism and innovation, are identified. The advantage of the proposed methodological support for profitability management is taking into account the specifics of financial activities of such enterprises: a wide range and types of services, differentiation of engineering services depending on the scale and demand for services, different levels of profitability of individual services. It is proved that ABC method and operational analysis are the most acceptable for managing the costs of an engineering enterprise. The sequence of stage-by-stage implementation of the break-even model, which takes into account the peculiarities of the activities of engineering enterprises, is established. For the purpose of operational management, the introduction of monitoring "costs - income - profit" and formed a system of analytical indicators to assess trends in past and current levels of profitability, as well as forecast changes in profits depending on income and expenses based on a scenario approach. Recommendations for optimizing the income of an engineering company based on the pricing mechanism, which takes into account factors related to engineering (time, innovation, scale of the potential customer, the number of people with new knowledge) and the choice of pricing method. The criteria for choosing the tools of strategic profit management of an engineering enterprise are substantiated, the model of economic added value is chosen as a priority. The development of theoretical and applied provisions for the management of profits of engineering enterprises has a practical orientation, the results can be used for the development of engineering enterprises.

Key words: profit management, engineering services, operational analysis, ABC method, monitoring, profitability

Середа Олена Олександрівна – к.е.н., доцент кафедри «Фінанси і банківська справа» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: sered1010@gmail.com

Кушал Ірина Миколаївна – к.е.н., доцент кафедри «Облік і оподаткування» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: inkushal7@gmail.com