

УДК 669.01-68.002.8

DOI <https://doi.org/10.26661/2071-3789-2023-2-07>

Коваленко Віктор Леонідович, доцент, доктор технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0001-5950-4412

Пазюк Михайло Юрійович, професор, доктор технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0001-5424-0462

Єфанов Володимир Сергійович, PhD, доцент, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-6363-4081

Овчинникова Ірина Анатоліївна, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-4035-412X

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Для утилізації максимальної кількості потенційної енергії потоку вторинної води, яка відводиться від технологічного обладнання, і кількість якої залежить від топології таких джерел та конфігурації системи збору, необхідне створення математичної моделі останньої і оптимізація її структури та параметрів. Для прогнозування енергетичних характеристик потоку води, який буде поступати на гідротурбіну, зібрано статистичну інформацію щодо фактичного водоспоживання устаткуванням в системі оборотного циклу металургійного підприємства Запорізького регіону.

Встановлено, що умовою створення енергоефективних систем гідроенергоутилізації в умовах промислових підприємств є вибір їх структури на оптимізаційному рівні та визначення технічних характеристик її елементів, а також врахування режимів та специфіки водоспоживання технологічних агрегатів, від чого будуть залежати енергетичні показники реального сумарного водотоку, що надходить на гідротурбіну мікро-ГЕС.

В роботі розроблено математичну модель стохастичного генератора витрати вторинної води промислового металургійного підприємства, що дозволяє більш точно визначати параметри систем гідроенергетичної утилізації. Моделювання потоку технічної води виконано з урахуванням динамічного характеру водоспоживання на потреби охолодження технологічного обладнання. Для визначення закону розподілу випадкової величини витрати застосовано статистичні дані, отримані експериментальним шляхом. Встановлено, що експериментальні спостереження за витратою води найбільш точно описуються законом розподілу Пуассона з параметрами $\lambda = 4,12$ і $k = 1...14$. Для реалізації даного методу попередньо побудована автокореляційна функція витрати технічної води та визначено коефіцієнти b_k шляхом розв'язання системи рівнянь. Застосований підхід дозволяє створювати стохастичні генератори витрат вторинної води будь-якого металургійного підприємства на основі їх прогнозованих величин та розрахувати приблизний гідроенергетичний потенціал їх водотоку, виконати вибір параметрів необхідного обладнання.

Ключові слова: математична модель, система збору, гідроенергетичні ресурси, стохастичний генератор, математична статистика, закон розподілу випадкової величини.

Вступ. Проектування систем утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств пов'язане з проведенням комплексу складних техніко-економічних розрахунків. Залежність вищезазначених систем від технологічного процесу підприємств призводить до нестационарності режимів роботи обладнання для гідроенергоутилізації, наслідком чого є недостатня визначеність його розрахункових параметрів, що використовуються при проектуванні.

Як відомо, основними складовими систем гідроенергетичної утилізації є: елементи збору води у вигляді трубопроводів і саме генеруюче обладнання – турбіна та генератор,

що обертається нею. Оскільки дане устаткування, зокрема, енергомодуль мікро-ГЕС, є досить дорогим, його слід вибирати таким чином, щоб уникнути недовантаженості електрогенератора. Не менш важливим є питання енергоефективності таких систем, які окрім того повинні забезпечувати економічно доцільне вироблення електричної енергії.

Постановка задачі. Кількість потенційної енергії водотоку, яку можна утилізувати, безпосередньо залежить від розосередження джерел вторинної води, що відводиться від технологічного обладнання, та конфігурації системи збору. Для створення оптимальної топології останньої необхідно синтезувати її математичну модель. Очевидно, що для цього, насамперед, необхідно визначити прогнозовані параметри результуючого потоку води, який буде поступати на гідротурбіну.

Як правило, режими споживання технічної води різні і визначаються видом технологічного процесу та самого устаткування, від якого вона відводиться. При цьому витрата рідини – процес нестационарний, оскільки параметри водотоку змінюються в залежності від ряду факторів, таких як: час доби та пори року, початкова температура рідини, послідовність в часі складових техпроцесу. Так, існують споживачі, добовий графік витрати води яких постійний і не залежить від динаміки техпроцесу, або змінюється у відповідності з жорсткою послідовністю, продиктованою виробничим циклом. Інші ж – мають випадковий (стохастичний) характер споживання. У результаті, однаковим циклом виробництва, одному і тому ж найменуванню обладнання відповідають різні величини витрат вторинної води.

Основна частина дослідження. Перелік обладнання цехів основного виробництва доцільно класифікувати по тому, як вони впливають на енергетичні параметри результуючого потоку вторинної води. Умовно їх можна розділити на три згадані вище типи: із незмінними в часі, стохастичними і жорстко прив'язаними до технологічного циклу витратами. Відповідні їм графіки представлені на рис. 1.

Очевидно, що у випадку постійної витрати вторинної води і коли вона циклічно змінюється у часі, прогнозування параметрів водотоку не є складним завданням. Однак, при стохастичному характері водоспоживання і водовідведення, необхідна розробка більш складного математичного інструмента визначення зазначених параметрів за відомими статистичними даними, одержаними на об'єкті гідроенергетичної утилізації.

Крім того, з урахуванням конфігурації систем гідроенергетичної утилізації, що створюються, важливу роль будуть мати параметри потоку, що безпосередньо поступає на гідротурбіну. Тобто, наприклад, на вхід останньої, при єдиному центрі збору для кількох джерел вторинної води буде подаватися вже сумарний потік невизначеної витрати і напору.

Крім того, з урахуванням конфігурації систем гідроенергетичної утилізації, що створюються, важливу роль будуть мати параметри потоку, що безпосередньо поступає на гідротурбіну. Тобто, наприклад, на вхід останньої, при єдиному центрі збору для кількох джерел вторинної води буде подаватися вже сумарний потік невизначеної витрати і напору. До того ж, необхідно враховувати, що технологічні агрегати, які, відповідно, і є джерелами води, як правило, розосереджені нерівномірно по території підприємства (цеху), по різному віддаленні від центру збору і мають відмінні один від одного габаритні розміри. Все вище перелічене призведе до невизначеності енергетичних характеристик реального сумарного водотоку, який для більш точного визначення енергоефективності систем гідроенергетичної утилізації потребує окремого моделювання.

Отже, звідси очевидно, що питання створення енергоефективних систем утилізації гідроенергетичних потенціалів промислових підприємств є досить складним, а вибір їх структури, визначення технічних характеристик елементів систем гідроенергетичної утилізації пов'язаний з проведенням великого обсягу взаємозалежних розрахунків. Для комплексного підходу до синтезу таких систем, необхідно, в першу чергу, розробити відповідні стохастичні генератори витрат вторинної води, що враховують специфіку і режими водоспоживання технологічних агрегатів, а також змоделювати реальний сумарний потік від кількох джерел вторинної води, що надходить на гідротурбіну мікро-ГЕС. Вище перелічене й повинно стати основою імітаційного математичного аналогу системи гідроенергетичної утилізації, що дозволить проводити відповідні обчислювальні дослідження та розрахунки.

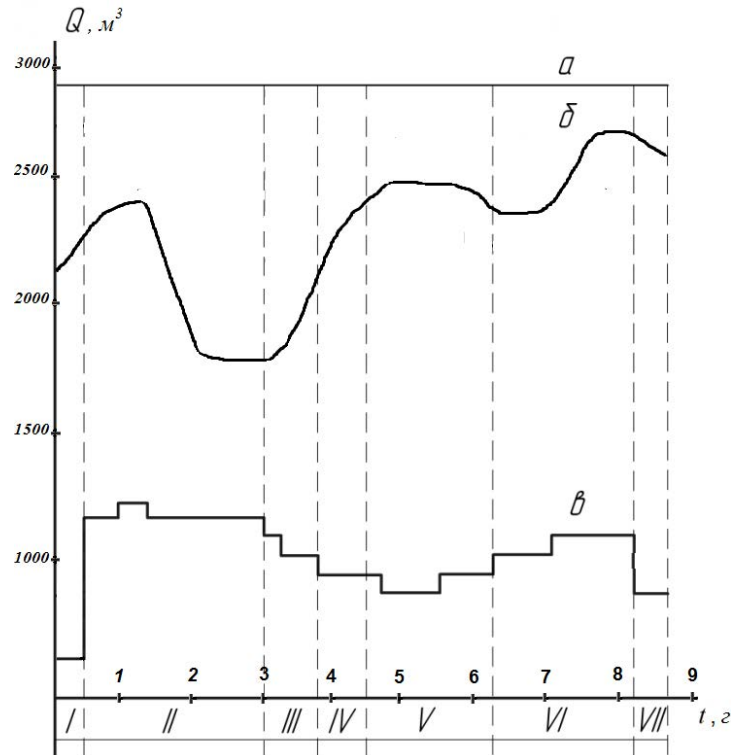


Рисунок 1 – Види графіків водоспоживання промислового обладнання
 $a - Q = \text{const}$; b – стохастичний процес водоспоживання; v – витрата охолоджуючої води, що відповідає режимам плавки в мартенівській печі (I – заправка печі; II – завалка сипучих матеріалів; III – прогрів завалених матеріалів; IV – заливка рідкого чавуну; V – плавлення; VI – доведення металу до заданого складу; VII – випуск сталі).

В роботі розроблено математичну модель (стохастичний генератор) вторинних водотоків з метою більш точного розрахунку параметрів систем утилізації гідроенергетичного потенціалу промислових підприємств. Моделювання потоку відпрацьованої технічної води з урахуванням динаміки водоспоживання конкретного устаткування може бути здійснено на основі статистичних даних, отриманих шляхом відповідних вимірювань. Періодичність останніх має бути достатньою для визначення законів розподілу розглядуваних випадкових величин і забезпечення достатньої точності подальшого прогнозування.

Для більш точного прогнозування величини витрати технічної води розроблений стохастичний генератор повинен враховувати коливання цієї витрати відповідно до закону її розподілу. Враховуючи наведену вище класифікацію джерел технічної води, таких генераторів може бути декілька. Однак, якщо у випадку сталості витрати і її жорсткій залежності від технологічного циклу створення вищезазначених генераторів не є складним, то в третьому випадку (при стохастичному характері споживання) синтез останнього вимагає додаткових розрахунків на основі вихідних статистичних даних. Алгоритм таких розрахунків можна реалізувати за відомою схемою [1] у послідовності, наведеній на рис. 2.

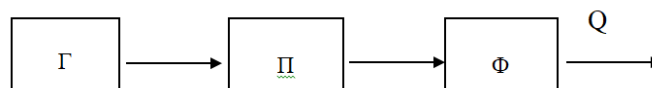


Рисунок 2 – Стохастичний генератор величини витрати технічної води

У блоці Г виробляється рівномірно розподілена некорельована випадкова величина в інтервалі (0,1). Π – перетворювач закону розподілу (з рівномірного в заданий).

Ф – фільтр, який перетворює некорельованої випадкову послідовність у корельовану із заданою автокореляційною функцією.

Як приклад наявності джерел вторинної води був розглянутий доменний цех ПАТ «Запоріжсталь», основним обладнанням якого є безперервно діючі доменні печі об'ємом 1513 м³, в яких проводиться виплавка чавуну з шихти. Вода в даному цеху витрачається на зволоження шихти, охолодження доменних печей і арматури повітрянагрівачів, а також на інші більш дрібні потреби. Зазначені заходи необхідні для збереження кладки печі і деталей, що працюють в зоні високих температур. Кількість води, необхідної для відведення теплоти в даному випадку може бути розраховано за загальновідомими методиками [2, 3, 4].

Водопостачання зазначеного цеху може бути однозонним або двозонним. При однозонному вся охолоджуюча вода подається в холодильники доменної печі під одним загальним напором, достатнім для того, щоб вона піднялася до найвищої із потрібних точок. При двозонному – вода для нижньої частини печі (розпар, заплечики, фурмена зона, горн і лещадь) подається під зниженим, а для верхньої – під підвищеним тиском. Останнім часом водопостачання великих доменних печей влаштовують за першою схемою.

Охолодження клапанів повітрянагрівачів (циліндричної споруди у вигляді металевого кожуха, заповненого спеціальною кладкою з вогнетривкої цегли) має на меті уберегти їх від руйнування відхідними газами і повітрям, нагрітими до температури 800 °С і більше. Основна кількість охолоджуючої технічної води, не отримавши специфічних забруднень зливається з холодильників печей і арматури повітрянагрівачів і надходить в оборотний цикл підприємства.

У табл. 1 наведені оброблені дані вимірів витрати технічної води на охолодження доменної печі № 5 вищевказаного підприємства за зимово-весняний період 2021 року, за якими побудований відповідний графік розподілу (рис. 3, а). Сезонними коливаннями витрати в даному випадку можна знехтувати з огляду на їх незначність, оскільки температура охолоджуючої води в даному проміжку часу практично незмінна. Загальна кількість замірів із періодичністю 1 година склало $i = 2616$.

Згідно [5-11], експериментальні спостереження за витратою води найбільш точно описуються законом розподілу Пуассона з відповідними параметрами λ і k :

$$P(k) = \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda}. \quad (1)$$

В результаті перевірки вказаної гіпотези за критерієм χ^2 було підтверджено відповідність отриманих значень цьому закону [11-13]. Параметри розподілу Пуассона у розглянутому випадку виявилися рівними: $\lambda = 4,12$ і $k = 1...14$ (рис. 3, б).

Таблиця 1 – Дані вимірів витрати технічної води на охолодження доменної печі

№ інтервалу	Витрата, м ³ /г	Кількість замірів
1	1550:1600	43
2	1601:1650	173
3	1651:1700	411
4	1701:1750	498
5	1751:1800	511
6	1801:1850	388
7	1851:1900	266
8	1901:1950	165
9	1951:2000	76
10	2001:2050	35
11	2051:2100	18
12	2101:2150	7
13	2151:2200	3
14	2201:2250	2



а)



б)

Рисунок 3 – Розподіл витрат води на охолодження печі

а) – експериментальні дані; б) – щільність ймовірності розподілу Пуассона витрат води з параметрами $\lambda = 4,12$ і $k = 1 \dots 14$.

Автокореляційна функція, що реалізується у блоці Ф, визначається за виразом [13]:

$$y(j) = \sum_{k=0}^m b_k E(j-k), j = 0; \pm 1; \pm 2; \dots, \quad (2)$$

де m – число інтервалів, що покривають час спаду автокореляційної функції випадкового процесу; b_k – коефіцієнти; $E(j-k)$ – стаціонарна одинична некорельована випадкова послідовність.

Для реалізації даного методу попередньо побудована автокореляційна функція витрати технічної води (рис. 4) і розраховані значення коефіцієнтів b_k шляхом розв'язання системи рівнянь:

$$R(0) = \sum_{k=0}^m b_k^2;$$

$$R(1) = \sum_{k=0}^m b_k b_{(k-1)}; \quad (3)$$

$$R(m) = b_n b_0,$$

де R_k – значення центрованої автокореляційної функції для відповідних $k = \overline{1, m}$.



Рисунок 4 – Автокореляційна функція витрати

Визначимо коефіцієнти b_k при автокореляціях $R_X(k)$:

$$\begin{aligned}
 R_X(k=0) &= b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + b_4^2 + b_5^2 + b_6^2 + b_7^2 + b_8^2 + b_9^2 + b_{10}^2 + b_{11}^2 + b_{12}^2 + b_{13}^2 + b_{14}^2, \\
 R_X(k=1) &= b_1b_2 + b_2b_3 + b_3b_4 + b_4b_5 + b_5b_6 + b_6b_7 + b_7b_8 + b_8b_9 + b_9b_{10} + b_{10}b_{11} + b_{11}b_{12} + b_{12}b_{13} + b_{13}b_{14}, \\
 R_X(k=2) &= b_1b_3 + b_2b_4 + b_3b_5 + b_4b_6 + b_5b_7 + b_6b_8 + b_7b_9 + b_8b_{10} + b_9b_{11} + b_{10}b_{12} + b_{11}b_{13} + b_{12}b_{14}, \\
 R_X(k=3) &= b_1b_4 + b_2b_5 + b_3b_6 + b_4b_7 + b_5b_8 + b_6b_9 + b_7b_{10} + b_8b_{11} + b_9b_{12} + b_{10}b_{13} + b_{11}b_{14}, \\
 R_X(k=4) &= b_1b_5 + b_2b_6 + b_3b_7 + b_4b_8 + b_5b_9 + b_6b_{10} + b_7b_{11} + b_8b_{12} + b_9b_{13} + b_{10}b_{14}, \\
 R_X(k=5) &= b_1b_6 + b_2b_7 + b_3b_8 + b_4b_9 + b_5b_{10} + b_6b_{11} + b_7b_{12} + b_8b_{13} + b_9b_{14}, \\
 R_X(k=6) &= b_1b_7 + b_2b_8 + b_3b_9 + b_4b_{10} + b_5b_{11} + b_6b_{12} + b_7b_{13} + b_8b_{14}, \\
 R_X(k=7) &= b_1b_8 + b_2b_9 + b_3b_{10} + b_4b_{11} + b_5b_{12} + b_6b_{13} + b_7b_{14}, \\
 R_X(k=8) &= b_1b_9 + b_2b_{10} + b_3b_{11} + b_4b_{12} + b_5b_{13} + b_6b_{14}, \\
 R_X(k=9) &= b_1b_{10} + b_2b_{11} + b_3b_{12} + b_4b_{13} + b_5b_{14}, \\
 R_X(k=10) &= b_1b_{11} + b_2b_{12} + b_3b_{13} + b_4b_{14}, \\
 R_X(k=11) &= b_1b_{12} + b_2b_{13} + b_3b_{14}, \\
 R_X(k=12) &= b_1b_{13} + b_2b_{14}, \\
 R_X(k=13) &= b_1b_{14}.
 \end{aligned}$$

У табл. 2 наведені значення коефіцієнтів b_k при $k = \overline{0,13}$, які були отримані шляхом розв'язання системи рівнянь у середовищі Mathcad.

Таблиця 2 – Коефіцієнти b_k автокореляційної функції

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
b_k	0,241	0,031	0,128	0,154	0,38	0,11	0,52	0,33	1,03	0,01	1,89	2,17	2,04	1,29

Висновок. Таким чином можна синтезувати стохастичні генератори витрат за всіма джерелами вторинної води металургійного підприємства на основі їх прогнозованих величин, попередньо оцінити потужність сумарного водотоку і зробити вибір необхідного гідроенергетичного обладнання [14]. Проведені дослідження є черговим етапом зі створення методики синтезу систем утилізації гідроенергетичного потенціалу промислових підприємств.

Бібліографічний перелік

1. M. Matsumoto, T. Nishimura. Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator (англ.) // ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations : journal. 2017. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник Харків: ХНАМГ, 2010. 280 с. ISBN 978-966-695-162-8
2. Запольский А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник. Київ: Вища школа, 2005. 671 с. ISBN 966-642-234-4
3. Корн М. Довідник по математиці (для науковців та інженерів). Москва: Наука, 1974. 832 с.
4. Вступ до планування оптимального експерименту: Навч. посібн. для студ. спец. 092502 – Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва / Укладачі: Г. О. Статюха, Д. М. Складаний, О. С. Бонаренко. Київ: ІВЦ «Політехніка», 2011. 117 с.
5. Теорія планування експериментів: Виконання розрахунково-графічної роботи: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / С.М. Лапач; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 3,31 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 86 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/38858/1/TOE_RHR.pdf (дата звернення 01.12.2023)
6. Бідюк П. І., Терентьев О. М., Просьянкіна-Жарова Т. І. Прикладна статистика. Київ: НТУУ «КПІ», 2012. 510 с. ISBN 978-966-2748-73-4
7. Бобик О. І., Берегова Г. І., Копитко Б. І. Теорія ймовірностей і математична статистика. Київ: Професіонал, 2007. 560 с.
8. Коваленко І. П. Математична статистика. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2012. 496 с.
9. Бідюк П. І., Половцев О. В. Аналіз та математичне моделювання економічних процесів перехідного періоду, Київ, НТУУ «КПІ», 1999. 230с.

10. Основи теорії відносності: навч. посіб. / М.Ш. Певзнер. Донецьк: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. 134 с.
11. Руденко В. М. Математична статистика. Навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2012. 304 с. ISBN 978-611-01-0277-3
12. Анісімов В. В., Черняк О. І. Математична статистика. Київ: МП «Леся», 1995. 105 с. ISBN 5-7707-8786-4.
13. Лукомский Ф. И. Теория корреляции и її застосування до аналізу виробництва: учеб. для вузов. Москва: Госстатиздат, 1958. 120 с.
14. Коваленко В. Л. К вопросу прогнозирования расходов вторичных водотоков промышленных предприятий / В. Л. Коваленко, Ю. Г. Качан // *Відновлювана енергетика*. 2009. № 3. С. 45–48.

References

1. M. Matsumoto, T. Nishimura. Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator (English) // *ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations: journal*. 2017. Hayrapetyan T. S. Water management of industrial enterprises: training. manual Kharkiv: KhNAMG, 2010. 280 p. ISBN 978-966-695-162-8
2. Zapolsky A. K. Water supply, drainage and water quality: Textbook. Kyiv: Higher School, 2005. 671 p. ISBN 966-642-234-4
3. Korn M. Handbook of mathematics (for scientists and engineers). Moscow: Nauka, 1974. 832 p.
4. Introduction to optimal experiment planning: Training. manual for students special 092502 – Computer-integrated technological processes and production / Compilers: G. O. Statyukha, D. M. Skladanniy, O. S. Bonarenko. Kyiv: Polytechnic Institute, 2011. 117 p.
5. Theory of experiment planning: Performing calculation and graphic work: teaching. manual for students specialty 131 "Applied Mechanics", specialization "Mechanical Engineering Technology" / S.M. Lapach ; KPI named after Igor Sikorsky. Electronic text data (1 file: 3.31 MB). Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, 2020. 86 p. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/38858/1/TOE_RHR.pdf (access date 12/01/2023)
6. Bidyuk P. I., Terentiev O. M., Prosyankina-Zharova T. I. Applied statistics. Kyiv: NTUU "KPI", 2012. 510 p. ISBN 978-966-2748-73-4
7. Bobyk O. I., Berehova G. I., Kopytko B. I. Probability theory and mathematical statistics. Kyiv: Professional, 2007. 560 p.
8. Kovalenko I. P. Mathematical statistics. Kyiv: Slovo Publishing House, 2012. 496 p.
9. Bidyuk P. I., Polovtsev O. V. Analysis and mathematical modeling of economic processes of the transition period, Kyiv, NTUU "KPI", 1999. 230p.
10. Basics of the theory of relativity: teaching. manual / M.Sh. Pevzner. Donetsk: National Mining University "National Mining University", 2013. 134 p.
11. Rudenko V. M. Mathematical statistics. Education manual Kyiv: Center for Educational Literature, 2012. 304 p. ISBN 978-611-01-0277-3
12. Anisimov V.V., Chernyak O.I. Mathematical statistics. Kyiv: MP "Lesya", 1995. 105 p. ISBN 5-7707-8786-4.
13. Lukomsky F. I. Correlation theory and its application to production analysis: учеб. for universities. Moscow: Gosstatizdat, 1958. 120 p.
14. Kovalenko V. L. To the question of forecasting the consumption of secondary water streams of industrial enterprises / V. L. Kovalenko, Yu. G. Kachan // *Renewable energy*. 2009. No. 3. P. 45-48.

Viktor Kovalenko, associate professor, doctor of technical sciences, Zaporizhzhia national university. ORCID: 0000-0001-5950-4412

Mikhailo Paziuk, professor, doctor of technical sciences, Zaporizhzhia national university. ORCID: 0000-0001-5424-0462

Vladimir Yefanov PhD, associate professor, Zaporizhzhia national university. ORCID: 0000-0002-6363-4081

Iryna Ovchynnykova, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporizhzhia national university. ORCID: 0000-0002-4035-412X

MATHEMATICAL MODELING OF METALLURGICAL ENTERPRISES HYDRO-ENERGY UTILIZATION SYSTEMS

To utilize the maximum amount of potential energy of the flow of secondary water, which is diverted from technological equipment, and the amount of which depends on the topology

of such sources and the configuration of the collection system, it is necessary to create a mathematical model of the latter and optimize its structure and parameters. In order to predict the energy characteristics of the water flow that will flow to the hydro turbine, statistical information on the actual water consumption by the equipment in the system of the reversible cycle of the metallurgical enterprise of the Zaporizhzhia region was collected.

It has been established that the condition for the creation of energy-efficient hydropower utilization systems in the conditions of industrial enterprises is the selection of their structure at the optimization level and the determination of the technical characteristics of its elements, as well as taking into account the modes and specifics of water consumption of technological units, which will depend on the energy indicators of the real total water flow entering the hydro turbine micro hydropower plant.

The paper developed a mathematical model of a stochastic generator of secondary water consumption of an industrial metallurgical enterprise, which allows to more accurately determine the parameters of hydropower utilization systems. The modeling of the flow of technical water is performed taking into account the dynamic nature of water consumption for the needs of cooling technological equipment. Statistical data obtained experimentally were used to determine the distribution law of the random amount of expenditure. It has been established that experimental observations of water consumption are most accurately described by the Poisson distribution law with parameters $\lambda = 4,12$ і $k = 1...14$. For the implementation of this method, the autocorrelation function of technical water consumption is preliminarily constructed and the coefficients b_k are determined by solving the system of equations. The applied approach makes it possible to create stochastic generators of secondary water consumption of any metallurgical enterprise based on their predicted values and to calculate the approximate hydropower potential of their watercourse, to select the parameters of the necessary equipment.

Key words: mathematical model, collection system, hydropower resources, stochastic generator, mathematical statistics, random variable distribution law.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2023 р.