

*О.В.БОРИЧЕНКО, В.П. КАЛІНЧИК, В.А. ПОБІГАЙЛО, В.В КАЛІНЧИК, О.В. МЕЙТА*

## АРХІТЕКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ДРОБИЛЬНО-ПОМОЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Запропонована структура системи автоматичного контролю та управління електроспоживанням дробильно-помольного комплексу, яка є основою системи моніторингу електроспоживання дробильно-помольного комплексу. Проаналізована достовірність передачі число-імпульсної інформації від лічильників електроенергії. Запропонована структура системи автоматичного управління дробильно-помольним комплексом.

**Ключові слова:** контроль, електроспоживання, управління, дробильно-помольний комплекс.

*O.V. BORYCHENKO, V.P. KALINCHUK, V.A. POBIGAYLO, V.V. KALINCHUK, O.V. MEITA*

## ARCHITECTURE OF THE AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING AND CONTROLLING POWER CONSUMPTION OF THE CRUSHING AND GRINDING COMPLEX

The structure of the system of automatic monitoring and control of electricity consumption of the crushing and grinding complex, which is the basis of the system for monitoring the electricity consumption of the crushing and grinding complex, is proposed. The reliability of the transmission of pulse number information from electricity meters is analyzed. The proposed structure of the automatic control system of the crushing and grinding complex.

**Keywords:** control, power consumption, management, crushing and grinding complex.

**Вступ.** Організація ефективного оперативного контролю та обліку електроспоживання в режимі реального часу в дробильно-помольному комплексі потребує використання сучасних автоматизованих систем. Якісне вирішення завдання контролю та обліку електроспоживання дробильно-помольним комплексом викликає необхідність побудови та дослідження математичних моделей системи автоматизованого керування електроспоживанням [1].

Для реалізації автоматизованої системи контролю та управління електроспоживання (АСКУЕ) у дробильно-помольних комплексах вона має забезпечувати:

1. Достовірність та якість інформації.
2. Поток архівування інформації про електроспоживання та протікання технологічного процесу.
3. Отримання інформації про стан технологічного процесу.
4. Визначення необхідних керуючих впливів та видачу сигналів керування технологічним процесом.
5. Агрегування у складі систем вищого рівня, прийом та передачу інформації послідовними каналами.
6. Завадостійкість, відновлюваність після перерв у харчуванні, збереження інформації.

Автоматизована система контролю та управління електроспоживанням дробильно-помольного комплексу, крім контролю та обліку електроспоживання, повинна мати широко розвинені функції управління технологічними процесами. В структурі АСКУЕ необхідно передбачити вимірювально-інформаційну систему, систему аналізу інформаційних потоків з електроспоживання та ідентифікацію добових графіків, інформаційних систем моделювання та прогнозування для управління електроспоживанням.

**Метою роботи** є обґрунтування архітектури автоматизованої системи контролю та управління електроспоживанням дробильно-помольного комплексу.

**Викладення основного матеріалу.** В промисловому виробництві система електропостачання є ієрархічною просторово-розподіленою структурою, яка визначається технологічними особливостями галузі виробництва. Це, своєю чергою, визначає необхідність використання функціонально і територіально-розподіленої системи контролю параметрів електроспоживання [2].

Перший етап розв'язання цього завдання - організація оперативного контролю та обліку витрат енергетичних ресурсів (в основному - електричної енергії).

Організація ефективного оперативного контролю та обліку електроспоживання в режимі реального часу в дробильно - помольному комплексі вимагає використання сучасних автоматизованих систем.

Якісне розв'язання задачі контролю та обліку електроспоживання дробильно – помольним комплексом зумовлює необхідність побудови та дослідження математичних моделей системи автоматизованого управління електроспоживанням. Контроль за електроспоживанням дає можливість оцінити динаміку електроспоживання впродовж доби, тижня, місяця і є вихідною інформацією для розв'язання задач автоматизованого управління за допомогою АСКУЕ. Структура системи автоматичного контролю електроспоживання дробильно-помольного комплексу показана на рисунку 1, де ВП – вимірювальні перетворювачі кількісних параметрів електроспоживання; КПК-комплекси первинного контролю параметрів енергоспоживання;  $n_i$  – кількість ВП для  $i$ -го КПК;  $m$  – кількість КПК у системі; СЗОІ -система збору та обробки інформації [3].

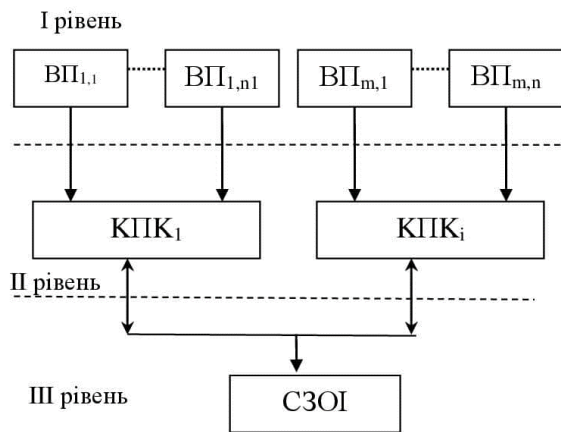


Рис. 1. Структура системи автоматизованого контролю та управління електроспоживання дробильно-помольного комплексу

Перший і другий рівні системи автоматичного контролю (рис. 2) включають ВП в складі: трансформаторів струму (ТС), трансформаторів напруги (ТН), лічильників електроенергії (ЛЕ), перетворювачів інформації з лічильника в послідовність імпульсів (П), лінії зв'язку (ЛЗ) та комплексу первинного контролю параметрів електроспоживання (КПК).

В якості комплексу первинного контролю може бути використаний один із вимірювальних комплексів [4].

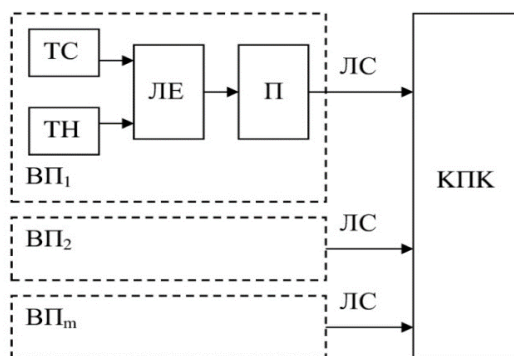


Рис. 2. I-II рівні системи автоматичного контролю електроспоживання

Інформацію про спожиту електроенергію в цій системі представлено у вигляді послідовності імпульсів, кількість яких пропорційна величині витрат електроенергії. Перетворювачі інформації виконують число-імпульсне модулювання вимірюваної величини потужності та витрат електроенергії [5].

Імпульси з перетворювача лінії зв'язку надходять у комплекс первинного контролю, де підсумовуються. Достовірність вхідної інформації залежить від частоти надходження імпульсів і від інтервалів часу, за який подається необхідна інформація.

Враховуючи, що частота імпульсів залежить від кутової швидкості обертання диска лічильника електроенергії, яка фіксована навантаженням і коефіцієнтом передачі лічильника  $K$ , то похибка розрахунків витрат

електроенергії може бути значною для фіксованих інтервалів часу.

Враховуючи, що кожен імпульс представляє собою постійний квант енергії, для його формалізації використовуємо формулу:

$$K = \int_0^{\tau} p(t) dt, \quad (1)$$

де  $p(t)$  – потужність в момент часу  $t$ .

З урахуванням коефіцієнтів трансформації трансформаторів струму і напруги формула (1) має вигляд

$$K = K_{TC} \cdot K_{TN} \cdot \int_0^{\tau} p(t) dt. \quad (2)$$

Характерним для число-імпульсних систем є перетворення величини витрат електроенергії в послідовність імпульсів з подальшою передачею цих імпульсів лініями зв'язку до приймача сигналів [6]. При число-імпульсній модуляції тривалість імпульсів постійна, інтервал між ними змінний (рис. 3).

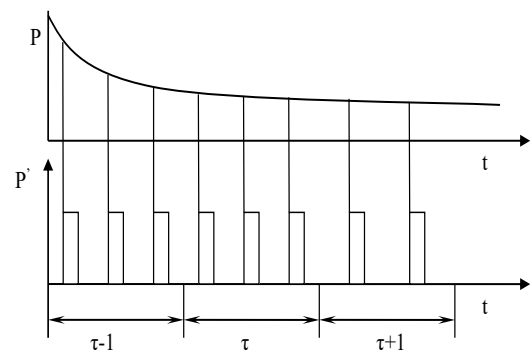


Рис. 3. Аналіз помилки контролю електроспоживання

Видно, що похибка розрахунків витрат електроенергії залежить від частоти надходження імпульсів та інтервалу контролю і визначається формулою:

$$\sigma = \frac{W_{\tau}^i - \Delta W_{\tau}^{i-1} + \Delta W_{\tau}^i}{W_{\tau}^i} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де  $W_{\tau}^i$  – витрата енергії в інтервалі  $\tau_i$ ,  $W_{\tau}^{i-1}$  – витрата енергії за час від закінчення останнього імпульсу в інтервалі  $\tau_{i-1}$  до початку інтервалу  $\tau_{i-1}$ ,  $\Delta W_{\tau}^i$  – витрата енергії за час від закінчення останнього імпульсу в інтервалі  $\tau$  до початку інтервалу  $\tau_{i+1}$ .

Максимальна похибка визначається як

$$\sigma_{max} = \frac{K}{W_{\tau}^i} \cdot 100\% \quad (4)$$

Збільшення частоти перетворення вхідних сигналів можна зменшити похибку вимірювань. При цьому зменшується постійна лічильника  $K$ .

Проте, постійна лічильника  $K$  фіксована для кожного з використовуваних типів електролічильників.

Послідовність випадкових прямокутних імпульсів однакової величини представляє собою інформаційний потік електроспоживання. Час надходження таких імпульсів є випадковою величиною, яка описується законом Пуассона.

Імовірність того, що за час  $t$  з лічильника надійде  $N$  імпульсів визначається формулою:

$$P_{\lambda}(N) = \frac{(\lambda t)^N}{N!} \cdot e^{-\lambda t}. \quad (5)$$

Основним параметром інформаційного потоку є інтенсивність, яка визначається як середня кількість переданих імпульсів за одиницю часу:

$$\tilde{\lambda} = N_{CP} = \frac{N}{t}. \quad (6)$$

З огляду на нерівномірність частоти надходження імпульсів виникає похибка від розрахунків. Так (рисунк 3) два суміжні імпульси можуть бути розділені різними за часом проміжками часу, які залежать від випадкового процесу електроспоживання.

Так як для обробки інформації необхідний певний час  $T$ , то імпульси, які надійшли в даний інтервал часу можуть бути втрачені.

Визначимо ймовірність того, що за час  $T$  надійшло  $N$  імпульсів:

$$P(N, T) = \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T}. \quad (7)$$

Ймовірність неврахування імпульсів під час обробки інформації визначається

$$P(T) = \sum_{N=1}^{\infty} P(N, T) = 1 - e^{-\lambda T}, \quad (8)$$

Середня кількість втрачених імпульсів за одиницю часу  $T$ :

$$m(T) = \sum_{N=1}^{\infty} NP(N, T) = NT. \quad (9)$$

Застосування накопичувача (буфера) первинної обробки інформації дає змогу суттєво зменшити втрати інформації. Так, для однокітного накопичувача інформації ймовірність неврахування імпульсів та середня кількість втрачених імпульсів визначається:

$$P(T) = \sum_{N=1}^{\infty} P(N, T) = 1 - e^{-\lambda T} - \lambda T e^{-\lambda T}, \quad (10)$$

$$m(T) = NT - 1 + e^{-\lambda T}. \quad (11)$$

На рис. 4 показані залежності втрат інформації, розраховані за формулами (10 – 11).

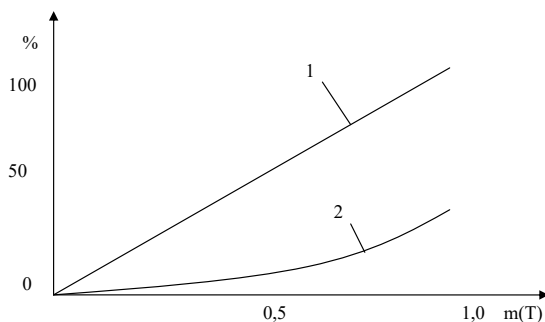


Рис. 4. Залежність втрат інформації

Виходячи з вище описаного, структура системи автоматичного управління дробильно-помольним комплексом може включати наступні блоки (рис. 5) блок збору первинної інформації (БЗП), базову модель системи, яку формує обчислювальний блок (ОБ) для коригування параметрів моделі і вироблення керуючого впливу і виконавчий блок (ВБ).

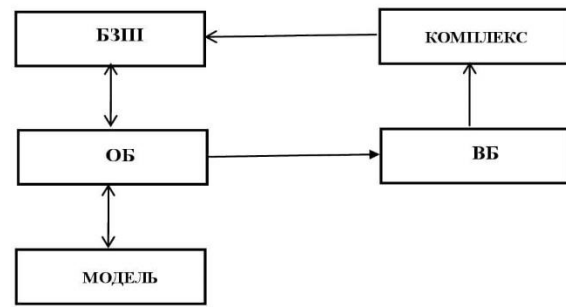


Рис. 4. Структура системи автоматичного управління дробильно-помольним комплексом

До складу блоків збору первинної інформації та виконавчого блоку входять безпосередньо пристрої, що здійснюють збір даних про конкретні параметри процесу (продуктивність, електроспоживання, тоніна і т.д.) та пристрої, що здійснюють керуючі впливи (система управління подачею живлення, завантаженням, швидкістю обертання барабана млина тощо).

**Висновки.** Модель, побудована на первинній інформації про комплекс, буде налаштована на оптимальний режим роботи за заданим критерієм. Зміни, що відбуваються в системі, будуть зафіксовані датчиками блоку збору первинної інформації або вказані операторами, на підставі отриманої інформації, буде здійснено переналаштування параметрів моделі, в результаті чого, керуючі впливи будуть вироблятися з урахуванням і постійних змін в системі.

#### Список літератури

- 1 Розен В.П., Деякі питання інформаційного опису дробильно-помольного комплексу за умов створення автоматизованої системи управління/ Розен В.П., Мейта О.В. // Вісник НТУУ "КПІ", серія "Гірництво" - 2002, - вип. 6. - С. 95 – 100.
- 2 Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку / А.В. Праховник, В.П. Калінчик, Ю.В. Тимошенко та інші. Інформаційний бюлетень НКРЕ. 2002 - № 11 - С. 230-261.
- 3 О. Бориченко, Система моніторингу електроспоживання дробильно-помольного комплексу/ О. Бориченко, В. Калінчик, В. Калінчик, О. Мейта, В. Побігало. Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Євразії». – Переяслав, 2025.- С.110-113..
- 4 В.П. Калінчик. Огляд та аналіз систем контролю електроспоживання/ В.П. Калінчик, А.С. Тимошенко, В.С. Прищеп, А.Р. Дерунець// Матеріали X Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Євразії». – Переяслав, 2023.- С.71-74.с.
- 5 Патент 14061 Україна. Датчик числа обертів//А.В. Праховник, В.П. Калінчик, В.О. Карунний, В.О. Нестеренко.- Опубл. 25.04.97- Бюл.№2.- 2с.
- 6 Вимірювальні канали автоматизованих систем контролю і обліку електричної енергії на базі пристроїв ІТЕК-210, ІТЕК-web. Методика повірки. МПУ 092/08-2003/ Ахмадов О.А.-Б., Васильченко В.І., Галушко В.С., Калінчик В.П., Прокопєв В.І., Харжевський Р.А. - УкрЦСМ Держпозживстандарту України, - 2003. – 16 с.

#### References (transliterated)

- 1 Rozen V.P., Meita O.V. Deiaki pytannia informatsiinoho opysu drobylno-pomolnoho kompleksu za umov stvorennia avtomatyzovanoi systemy upravlinnia. Visnyk NTUU "KPI", seriya "Hirnytstvo". 2002, vyp. 6. Pp. 95 – 100.

- 2 A.V. Prakhovnyk, V.P. Kalinchyk, Yu.V. Tymoshenko ta inshi. Kontseptsiiia pobudovy avtomatyzovanykh system obliku elektroe-nerhii v umovakh enerhorynku. Informatsiinyi biuleten NKRE. 2002. № 11. Pp. 230–261.
- 3 O. Borychenko, V. Kalinchyk, V. Kalinchyk, O. Meita, V. Pobihailo Systema monitorynhu elektrozpozhyvannia droblyno-pomolnoho kompleksu. Materialy KhVIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku suchasnoi nauky v krainakh Yevrazii». Pereiaslav, 2025. Pp.110-113.
- 4 V.P. Kalinchyk, A.S. Tymoshenko, V.S. Pryshchepa, A.R. Derunets. Ohliad ta analiz system kontroliu elektrozpozhyvannia. Materialy Kh Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku suchasnoi nauky v krainakh Yevrazii». Pereiaslav, 2023. Pp. 71-74.
- 5 Patent 14061 Ukraina. Datchyk chysla obertiv. A.V. Prakhovnyk, V.P. Kalinchyk, V.O. Karunnyi, V.O. Nesterenko. Opubl. 25.04.97-Biul.№2. 2 p.
- 6 Vymiriuvalni kanaly avtomatyzovanykh system kontroliu i obliku elektrychnoi enerhii na bazi prystroiv ITEK-210, ITEK-web. Metodyka povirky. MPU 092/08-2003/ Akhmadov O.A.-B., Vasylenko V.I., Halushko V.S., Kalinchyk V.P., Prokopets V.I., Kharzhevskiy R.A. UkrTsSM Derzhpozhyvstandartu Ukrainy, 2003. 16 p.

Надійшла (received) 12.04.2025

*Відомості про авторів / About the authors*

**Бориченко Олена Володимирівна (Borychenko Olena Volodymyrivna)** кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, завідувачка кафедри електропостачання; м. Київ; тел.: (050) 052-34-57 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6127-2945>, e-mail: [borichenko\\_olena@ukr.net](mailto:borichenko_olena@ukr.net)

**Калінчик Василь Прокопович (Kalinchyk Vasyl Prokopovich)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, доцент кафедри електропостачання; м. Київ, тел.: (067) 209- 87-26; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4028-0185>, e-mail: [vkalin@i.ua](mailto:vkalin@i.ua)

**Калінчик Віталій Васильович (Kalinchyk Vitalii Vasylovych)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, старший викладач кафедри охорони праці та промислової та цивільної безпеки; м. Київ; тел.: (093) 270-10-52; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3931-646X>.

**Мейта Олександр Вячеславович (Meita Aleksandr Vyacheslavovich)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних та мехатронних комплексів, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ; тел.: (097) 139-88-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4132-5202>.

**Побігало Віталій Анатолійович (Pobigaylo Vitalii Anatoliievich)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, доцент кафедри електропостачання; м. Київ; тел.: (097) 308-88-95; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2673-7329>, e-mail: [pobigaylo@gmail.com](mailto:pobigaylo@gmail.com).