

MONOGRAPH

THEORETICAL ASPECTS OF MODERN ENGINEERING



DOI 10.46299/ISG.2020.MONO.TECH.III
ISBN 978-1-64945-862-9
BOSTON (USA) – 2020
ISG-KONF.COM

ISBN - 978-1-64945-862-9

DOI- 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.III

*Theoretical aspects of modern
engineering*

Collective monograph

Boston 2020

5.	ENGINEERING GRAPHICS	120
5.1	Mandrichenko O., Demydenko T. ENGINEERING GRAPHICS - THE BASIS FOR FORMING THE THEORETICAL BASE OF ENGINEERING THINKING	120
6.	FOOD TECHNOLOGY	125
6.1	Dorozhko V., Pshenychna Y. RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF CREATION OF TECHNOLOGIES OF MEAT PRODUCTS FROM OSTRICH MEAT	125
6.2	Topchii O., Verchenko M., Honcharenko T. USE OF OILSEED POLYFUNCTIONAL SUPPLEMENTS IN THE MANUFACTURE OF MEAT PRODUCTS	130
7.	INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION	139
7.1	Sotnyk M., Marynych T., Drozdenko A., Leontiev P., Telizhenko O. MONITORING AND FORECASTING SYSTEMS FOR ELECTRICITY CONSUMPTION IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS	139
7.2	Левченко Л.О., Ходаковський О.В., Козачук А. ПРОБЛЕМАТИКА СТВОРЕННЯ ЗАХИСНОГО ЕКРАНУ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗОРУДНОГО ПИЛУ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	159
8.	INNOVATIVE TECHNOLOGIES	163
8.1	Pryadko N. INNOVATIVE FINE GRINDING TECHNOLOGY WITH ACOUSTIC PROCESS CONTROL	163
9.	MECHANICAL ENGINEERING AND MECHANICAL ENGINEERING	169
9.1	Arkhypov O., Bakun V., Sukhov V., Kozei Y., Marynoshenko O. VIBRO PROTECTIVE SYSTEMS OF QUASE ZERO RIGIDITY	169
9.2	Chasov D. ANALYSIS OF EXISTING METHODS OF GRINDING WASTE FROM MECHANICAL INDUSTRIES	179

SECTION 7. INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

7.1 Monitoring and forecasting systems for electricity consumption in educational institutions

Підвищення ефективності використання первинних енергетичних ресурсів та енергії є однією з актуальних проблем. Зменшення обсягів використання теплової, електричної енергії можливе за рахунок техніко-технологічного удосконалення основних та допоміжних процесів. Іншим, не менш важливим фактором, є розробка та впровадження організаційно-технічних заходів, які стосуються режимів функціонування підприємств та організацій, узгодження між собою режимів електро- та теплоспоживання, регулювання електроспоживання. Вирішення проблеми підвищення енергоефективності технологічних процесів – це, перш за все, скорочення витрат електричної енергії. За існуючих технологій генерації електричної енергії в Україні на теплових та атомних електростанціях, скорочення споживання електричної та теплової енергії пов'язане зі скороченням генерації електроенергії, а, отже, і зі зменшенням викидів у атмосферу парникових газів та інших забруднюючих речовин. Будь-який технологічний процес (якщо навіть у ньому не утворюються шкідливі для довкілля відходи), у якому використовується електроенергія завжди має негативний «екологічний слід», тому проблема ефективного та економного використання електричної енергії є загальнодержавною у будь-якій країні. Однією з основних умов досягнення успіху у діяльності щодо підвищення енергоефективності технологічних процесів має бути можливість отримання поточної інформації про реальне енергоспоживання об'єктом (підприємством, установою, повним циклом окремого технологічного процесу, обладнанням тощо). Для цього, згідно чинного законодавства [168], енергоресурси, які використовують енергоспоживаючі пристрої (агрегати), мають бути обраховані з використанням приладів обліку (лічильників). Здебільшого такі лічильники побудовані за різним принципом дії, але їх об'єднує одна особливість: вони

фізично фіксують обсяги енергоресурсів наростаючим підсумком, тобто фіксують проходження через вузол обліку (лічильник) енергоресурсу у кількості, яка визначається наперед заданими одиницями виміру. Тобто, інформація щодо спожитих обсягів енергоресурсу накопичується, архівується (у тому чи іншому вигляді) у, практично, автоматичному режимі без участі людини. При цьому проблематичним є організація процесу зчитування такої інформації у визначені моменти часу. Здебільшого це виконує людина з занесенням результатів на паперові або електронні носії інформації, формуючи відповідні бази даних про споживання енергоресурсу за певні проміжки часу. Робота кропітка, має значну трудомісткість, не завжди виконується персоналом у точно визначені моменти часу, що вносить певні невідповідності у результати документального оформлення результатів фіксації обсягів енергоспоживання. За чинними нормами та правилами зняття показань лічильників та оформлення результатів комерційної взаємодії між споживачем та постачальником проводиться через певний проміжок часу, який визначається умовами договору між контрагентами. За цих умов організація неперервного контролю поточного енергоспоживання у споживача постачальником практично не можлива, бо лічильник зазвичай знаходиться у споживача, або у віддалених від персоналу постачальника місцях. Така ситуація практично унеможлиблює контроль дотримання споживачем умов використання потужності споживання енергоресурсу без застосування додаткових засобів обмеження її граничних значень, обумовлених режимами енергоспоживання або максимальними величинами, які визначаються умовами договору. Крім того проблемною є організація формування добових «профілів» енергоспоживання для контролю ефективності використання енергоресурсів протягом доби. Звісно, зазначені проблеми є стримуючим фактором підвищення енергоефективності споживання енергоресурсів, «вирівнювання» добових графіків енергоспоживання, визначення поточних величин питомого використання електроенергії та інших енергоносіїв через велику трудомісткість та низьку оперативність їх отримання.

Подальшим кроком щодо усунення зазначених недоліків, усунення «людського фактору» у процесі отримання даних щодо споживання електроенергії є запровадження АСКОЕ (автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії). Впровадження таких систем дає змогу автоматизувати процес обліку спожитих енергоресурсів (електроенергії) протягом визначених періодів часу з можливістю виконання відповідного протоколу, виключивши «людський фактор».

Система розрахована на можливість використання її інформаційних потоків для визначення обсягів споживання електроенергії при формуванні протоколів для комерційних розрахунків між споживачем та постачальником. Це накладає свої обмеження на обладнання та формування каналів зв'язку системи. Вони мають бути верифіковані з метрологічної точки зору, мати захист щодо спотворення результатів вимірювань при їх передачі інформаційними каналами, а також захищені від не санкціонованого стороннього втручання. Виходячи з економічної доцільності постачальники електроенергії зацікавлені та наполягають на впровадженні таких систем у господарствах споживачів, струмоприймачі яких споживають значні обсяги електроенергії, а також мають декілька пунктів обліку споживання. Первинним елементом системи є лічильник електричної енергії, який функціонально такий же як і звичайний електронний лічильник. Однак, додатково він повинен мати так званий цифровий вихід для організації інформаційних потоків від лічильника через проміжні пристрої, які можуть формувати проміжні бази даних, до центрального сервера. Центральний сервер формує протоколи системи, за якими надається інформація щодо обсягів споживання електроенергії за певні визначені проміжки часу. Така інформація отримується від електричного лічильника і є інтегральною щодо всіх струмоприймачів, які споживають електроенергію, що надходить через нього. Дійти до обрахунку споживання кожним окремим споживачем є проблематичним з економічної точки зору і потребує значних капітальних вкладень. Однак, інформаційні потоки системи АСКОЕ можна використовувати для моніторингу фактичного електроспоживання у минулі періоди часу.

Зважаючи на метрологічні та безпекові аспекти зазвичай цією інформацією користуються більше «візуально», без автоматичного інтегрування її баз даних в інші системи. Позитивним результатом впровадження є виключення з процесів АСКОЕ «людського фактору», а також можливість отримання інформації для формування профілів добового споживання струмоприймачами електроенергії за минулі періоди часу з метою проведення детального техніко-економічного аналізу функціонування споживачів. Середні витрати на впровадження однієї точки обліку системи АСКОЕ наразі оцінюються у 30 тис. грн. Вони включають вартість обладнання, вартість програмного забезпечення, вартість налагоджувальних робіт [169].

Описані інформаційні можливості систем АСКОЕ в основному фіксують обсяги енергоспоживання у минулих періодах, дають можливість, з використанням інших інформаційних технологій, визначати профілі добового електроспоживання. Однак, вони не можуть дати вичерпну відповідь на питання: «На скільки доцільними та виправданими з технічної та організаційної точки зору були витрати електроенергії у той чи інший період часу?» Для відповіді на це запитання мають формуватися інформаційні масиви автоматизованих систем моніторингу електроспоживання. У їх побудові використовується принцип контролю, за яким визначається фактичне електроспоживання у певні періоди часу, розраховуються питомі чи інші величини показників споживання струмоприймачами та порівнюються з розрахунковими контрольними показниками електроспоживання, які визначаються з урахуванням умов та режимів функціонування струмоприймачів. Оцінювання коректності обсягів споживання електроенергії (ефективності функціонування систем енергозабезпечення об'єктів) визначається співставленням зазначених фактичних та розрахункових контрольних показників. У разі їх невідповідності протокол системи має сигналізувати персоналу про необхідність внесення коректив у режими функціонування таких систем для їх повернення до розрахункових у майбутні або поточний періоди. У більшості випадків за таких умов ми можемо отримати відповідь на питання: «Виграли чи програли у минулі

періоди?» без можливості корегування з урахуванням зміни умов функціонування струмоприймачів у майбутньому (нехай і короткотерміновому).

Реалізація визначених функцій системою моніторингу може відбуватися з використанням баз даних, які можуть формуватися: з використанням інформаційних масивів АСКОЕ, з використанням власних баз даних щодо фактичного електроспоживання струмоприймачами, які можуть створюватися у автоматичному режимі апаратними засобами самої системи.

Як вже зазначалося, використання баз даних АСКОЕ в автоматичному режимі є проблематичним. Тобто, перенесення інформації з АСКОЕ до баз системи моніторингу здебільшого відбувається у майже «ручному» режимі. Формування власної інформаційної бази системи моніторингу щодо фактичного споживання електроенергії має використовувати власний комплекс обладнання, включаючи первинні датчики зняття показань, накопичувачі та передавачі інформації з використанням окремих або існуючих інформаційних мереж, обладнання центрального сервера. При цьому слід звернути увагу на те, що такі системи формально не мають статусу функції комерційного обліку споживання електроенергії і їх інформацію не можна використовувати при оформленні протоколів взаємних комерційних розрахунків між постачальником та споживачем. Однак, це не означає, що точність фіксації показань системою не відповідає точності АСКОЕ. Крім того, як вже зазначалося, чинне законодавство та нормативна база не вимагає оснащення АСКОЕ невеликих споживачів, якими у більшості випадків є заклади освіти. Тобто, впровадження у них систем моніторингу споживання електроенергії не є дублюванням АСКОЕ і, з економічної точки зору, у більшості випадків є виправданим.

Врахування змінних зовнішніх та внутрішніх факторів, які впливають на функціонування струмоприймачів та їх електроспоживання при визначенні планових обсягів електроспоживання у минулих, поточних та майбутніх періодах можливе у інформаційних системах моніторингу та короткострокового прогнозування обсягів споживання електричної енергії, які доцільно застосовувати у закладах освіти. У навчальних закладах на профіль споживання

електроенергії значною мірою впливають розклад занять (на яких у навчальному процесі використовуються гаджети, що споживають електроенергію), змінні кліматичні (погодні) умови, які впливають на освітленість робочих місць, обсяги виконання допоміжних процесів, а також споживання електроенергії у процесах не пов'язаних з навчальним. Тобто, необхідно створити математичну модель електроспоживання.

Фундаментальні науково-методичні підходи до створення моделей процесу електроспоживання, організації на основі даних вимірювань з використанням сучасних методів декомпозиції запропоновані в роботі [170]. Зокрема автором запропоновано варіант апаратно-програмного комплексу для моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації.

На окрему увагу заслуговують роботи в яких розглядаються питання планування та управління використанням електричної енергії в бюджетних установах і, зокрема, у навчальних закладах [171, 172, 173]. Зокрема, в роботі [172] на основі використання реальних статистичних даних одержані регресійні моделі електроспоживання у будівлях вищого навчального закладу (гуртожитках). В роботі [173] доведено ефективність використання методів, заснованих на деревах регресії, при короткотерміновому прогнозуванні навантаження. При цьому автори пропонують враховувати крім зовнішніх факторів (температура навколишнього середовища) також і внутрішні, – календарні змінні (розклад занять, час проведення занять та ін.).

Останнім часом на українському ринку послуг, пов'язаних із енергоефективністю та енергоощадністю, з'явився ряд програмних продуктів від різних розробників, основною функцією яких є програмно-апаратна підтримка моніторингу споживання енергоресурсів. Достатньо ґрунтовний аналіз таких програмних продуктів здійснено експертами Асоціації «Енергоефективні міста України» в рамках реалізації одного з компонентів Ініціативи «Розумний енергетичний менеджмент в ОТГ», що впроваджується за дорученням Програми «U-LEAD з Європою» компанією «Deutsche Gesellschaft fur Internationale

Zusammenarbeit (GIZ) GmbH» [174]. Ці програмні продукти є, як правило, багатофункціональними та такими, що дозволяють організувати систему моніторингу та управління електроспоживанням складних промислових систем, населених пунктів, групи будинків та ін.

Для реалізації системи прогнозування та моніторингу споживання електроенергії на рівні окремих об'єктів (наприклад закладів освіти, медичних закладів та ін.) виникає необхідність у розробці простого апаратно-технічного та програмного забезпечення яке б забезпечувало, при цьому, необхідний рівень виконання всіх функцій, притаманних складним програмним продуктам.

Необхідною передумовою для розробки таких програмних продуктів є уточнення методики обрахунку величин нормального енергоспоживання, яка б враховувала короткотермінові зміни технологічного процесу та зовнішні змінні умови його виконання. Моделювання електроспоживання повинно спиратися на вихідні дані, які коректно характеризують процеси енергоспоживання. Їх визначення є складною задачею і без диференціації загальних показників електроспоживання цього зробити майже не можливо. Застосування методик формування «спектру» електроспоживання, які поєднують розрахункові, статистичні методи моделювання мають підвищити точність визначення складових електроспоживання окремими системами та точність прогнозування. Результати проведених досліджень показують можливість створення «спектру» енергоспоживання (диференціацію електроспоживання за окремими групами струмоприймачів) з використанням результатів проведення енергетичного аудиту навчального закладу. Графічну інтерпретацію усередненого добового «спектру» електроспоживання навчального закладу представлено на рис. 1 [175]. За структурою споживання струмоприймачі можна розділити за системами в яких вони використовуються:

- системи штучного освітлення приміщень де проводяться основні та допоміжні технологічні процеси;

- системи виконання основного технологічного процесу та допоміжних процесів (навчального процесу та допоміжних до нього);

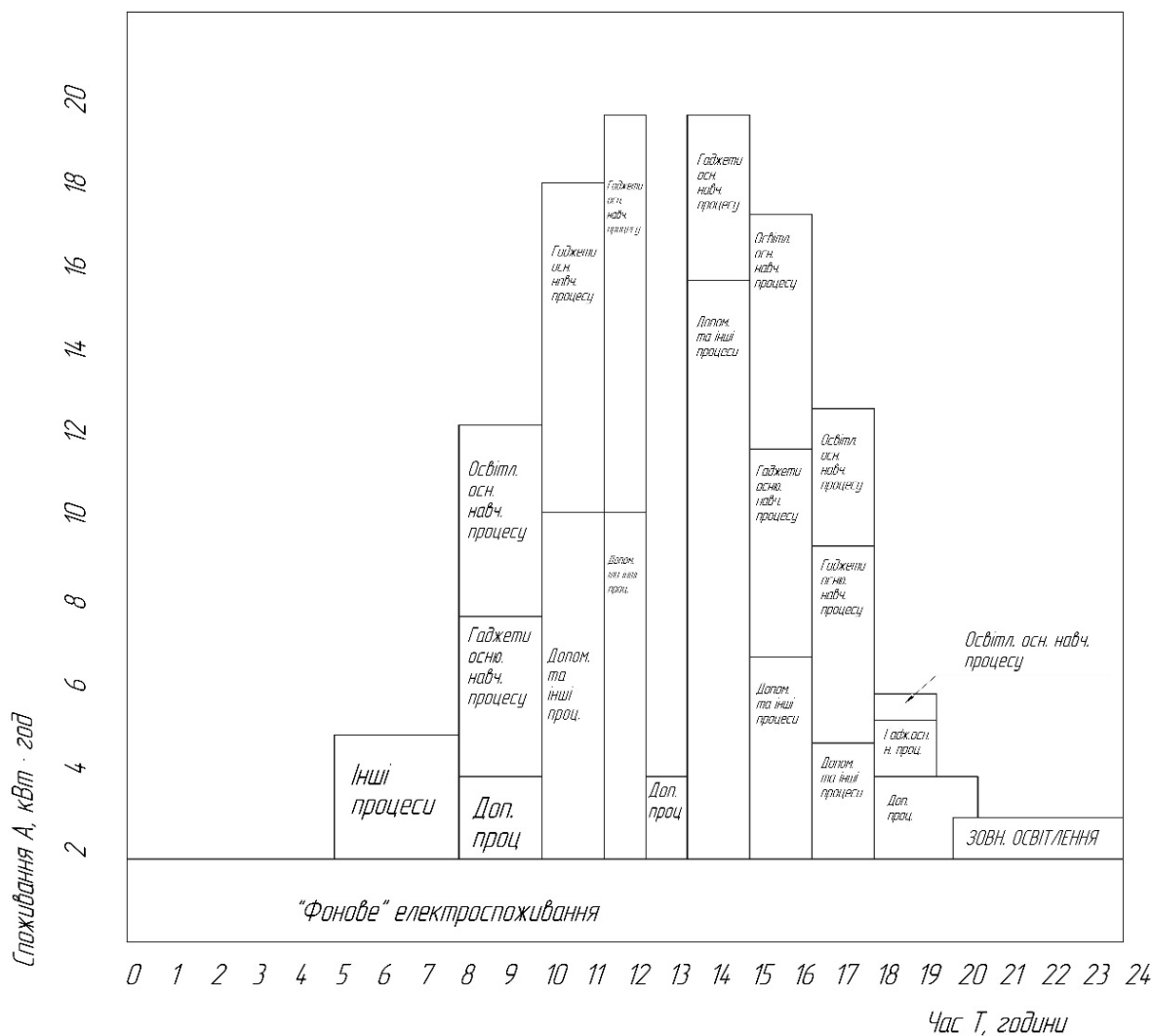


Рисунок 1. Графічна інтерпретація усередненого добового «спектру» електроспоживання навчального закладу.

- системи енергозабезпечення будівель та процесів, а також їх підтримки;
- системи забезпечення адміністративної діяльності та побутових потреб.

За цією градацією характер споживання електроенергії струмоприймачами пропонується визначати, виходячи з аналізу режимів їх функціонування, враховуючи структуру елементів «спектру». Автоматизацію процесу розрахунку лімітних показників прогнозованого електроспоживання пропонується виконувати з використанням можливостей комп'ютерної техніки та створенням алгоритмів і програм у існуючих пакетах. Об'єднання та візуалізацію результатів

поточного контролю обсягів електроспоживання та відповідного прогнозу, оцінювання їх не відповідності пропонується виконувати з використанням математичних методів моделювання, що дає можливість створення автоматизованих комплексів короткотермінового прогнозування та моніторингу їх електроспоживання.

Протягом доби спостерігається «фонове» електроспоживання, тобто у будівлі функціонують струмоприймачі систем безперебійної підтримки функціонування процесів, які виконуються у будівлі, а також систем енергетичної та функціональної підтримки самої будівлі. При аналізі електроспоживання його можна виділити з загального обсягу електроспоживання як константу. Врахування впливу кліматичних факторів на обсяги та характер споживання електричної енергії можливе шляхом аналізу напрацьованого за певний час масиву статистичних даних метеорологічних спостережень, поточної та прогнозної інформації щодо погодних умов місцевості (території) розташування закладу. Характер споживання електроенергії струмоприймачами пропонується визначати, виходячи з аналізу режимів їх функціонування. Накопичення статистичних даних щодо складових «спектру» електроспоживання у подальшому дозволяє при прогнозуванні обсягів споживання застосовувати і інші способи моделювання процесів енергоспоживання.

Повертаючись до систем штучного освітлення, зазначимо, що їх використання має забезпечувати необхідний санітарно-гігієнічний рівень освітленості робочих місць та інших приміщень. Обсяги споживання ними електричної енергії мають визначатися фактичною $P_{осв.факт.}$ (або установленою $P_{осв.уст.}$, якщо їх величини співпадають) електричною потужністю та періодом проведення технологічного процесу $t_{осв.}$, протягом якого освітленість нижче необхідного рівня. Протяжність періоду $t_{осв.}$ залежить від терміну проведення технологічного процесу, графіку функціонування закладу, кліматичних умов. Вплив кліматичних умов можна враховувати з використанням кліматичного

коефіцієнта $\kappa_{\text{клім.}}$. Тоді кількість електричної енергії, яка має споживатися струмоприймачами систем штучного освітлення $A_{\text{осв.}}$ може бути розрахована за виразом:

$$A_{\text{осв.}} = P_{\text{осв.факт.}} \cdot t_{\text{осв.}} \cdot \kappa_{\text{клім.}} \quad (1)$$

Аналогічно, за формулою (1) можна розрахувати обсяги споживання електроенергії системами освітлення будь-якого приміщення.

Розрахунок обсягів споживання електричної енергії власне у навчальному процесі має виконуватися з урахуванням встановленої потужності струмоприймачів $P_{\text{навч.}}$, які задіяні у навчальних технологіях та періоду часу $t_{\text{навч.}}$, протягом якого вони використовуються на визначеному занятті та у визначеній аудиторії. $t_{\text{навч.}}$ залежить від виду занять (лекційні, практичні та інші), а також від дисципліни та її тематики. Для спрощення алгоритму автоматизованого розрахунку прогнозованих обсягів електроспоживання доцільно оперувати відносною величиною κ_3 часу використання струмоприймачів $t_{\text{навч.}}$ до загального (календарного) часу проведення заняття $t_{\text{календ.}}$, яка розраховується як коефіцієнт завантаження (використання) за виразом $\kappa_3 = t_{\text{навч.}} / t_{\text{календ.}}$.

Тоді розрахунковий обсяг споживання електричної енергії струмоприймачем протягом заняття $A_{\text{навч.}}$ визначиться за виразом:

$$A_{\text{навч.}} = P_{\text{навч.}} \cdot t_{\text{календ.}} \cdot \kappa_3 \quad (2)$$

Аналогічно формулі (2) мають бути розраховані інші складові «спектру» електроспоживання. Сумарні обсяги прогнозованого електроспоживання мають розраховуватися як сума визначених складових. Вони мають формуватися за періодами доби, які відповідають розкладу проведення занять та тривалості робочого дня допоміжних підрозділів, формуючи профілі електроспоживання будівлею. Дані можуть бути сформованими у вигляді таблиць та графіків

прогнозного споживання на наступну добу. Алгоритм системи дозволяє вносити корективи у результати прогнозного розрахунку по закінченню поточного періоду, якщо в ньому виникли суттєві зміни вихідних даних, пов'язаних зі зміною розкладу занять, чи зміною метеорологічних умов. Структурна схема інформаційних блоків алгоритму розрахунку прогнозних обсягів споживання електроенергії у навчальному процесі представлено на рис. 2 [175]. За цією схемою інформаційні потоки формуються за декількома базами даних, джерелами яких є константи, що корегуються періодично в залежності від зміни параметрів будівлі або навчальних приміщень (постійна база даних), змінні величини, які залежать від розкладу занять (змінна база даних) та змінні величини, які характеризують вплив на електроспоживання поточних кліматичних (погодних) змін (інформаційний метеопортал). Окрім цих інформаційних потоків сервер системи потребує поточної інформації щодо реального електроспоживання. Їх джерелом може бути інформаційна база АСКОЕ. Однак, як вже зазначалося у більшості випадків її використання є проблематичним.

Система моніторингу електроспоживання складається з програмно-алгоритмічної і апаратної частин. В свою чергу програмно-алгоритмічна частина поділяється на дві складові: алгоритми прогнозу споживання електроенергії і алгоритми аналізу результатів. Більш детальний опис складу системи і структурної схеми процесу моніторингу ілюструє рис. 3.

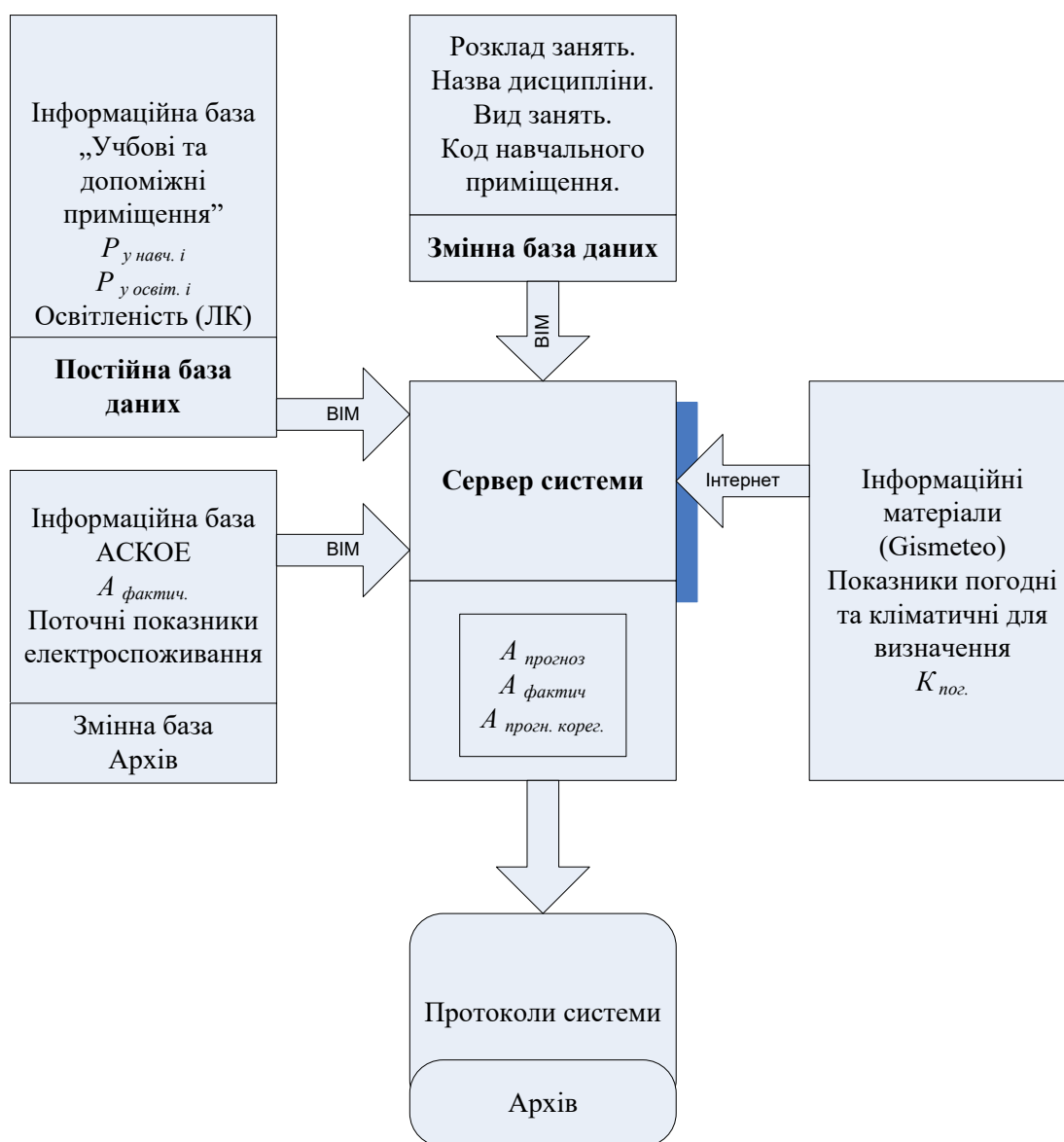


Рисунок 2. Структурна схема інформаційних блоків алгоритму розрахунку прогнозних обсягів споживання електроенергії у навчальному процесі.

Модуль розрахунку споживання електричної енергії базується на моделях короткострокового і довгострокового прогнозування споживання електричної енергії об'єктом. Витрата електроенергії завжди обумовлена двома тенденціями: електроенергія яка необхідна для виконання технологічного процесу (роботи об'єкта за призначенням) та електроенергія, яка витрачається на компенсацію впливу зовнішніх факторів. Для розрахунку планового прогнозу електроспоживання в системі моніторингу повинні бути введені характеристики всіх струмоприймачів, які є в наявності на об'єкті. Під характеристиками розуміють: потужність струмоприймача та місце його підключення.

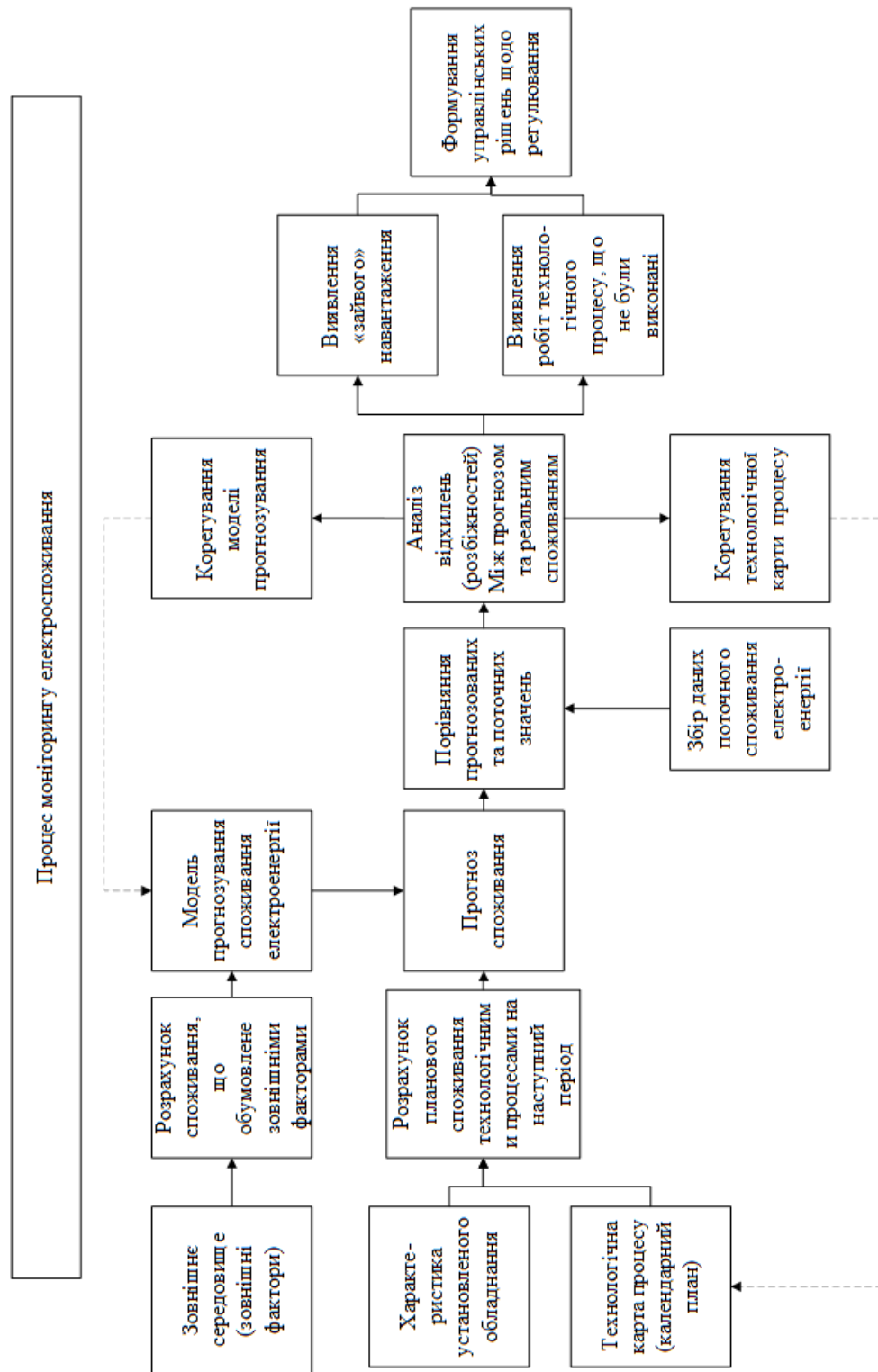


Рисунок 3. Структурна схема процесу моніторингу електроспоживання.

Також для визначення планового електроспоживання потрібно мати карту технологічного процесу (розкладу занять). Карта являє собою послідовність операцій, що будуть виконуватись у період, на який складається прогноз.

Крім цього, повинні бути наявні дані про те яке обладнання буде задіяне для виконання цих операцій і час, впродовж якого, воно буде працювати. Якщо об'єкт це заклад освіти, то у якості карти технологічного процесу виступає розклад занять з зазначенням у ньому виду заняття, місця та часу його проведення, а також, бажано, теми заняття. Маючи інформацію щодо потужності струмоприймачів та послідовності технологічного процесу проводиться розрахунок щодо кількості спожитої електричної енергії на період планування.

Частина електроенергії, що витрачається об'єктом споживання, обумовлена зовнішніми факторами, які не можуть бути враховані детерміністичною складовою тому, що значення цих факторів може бути випадковим, а також спостерігається взаємний вплив цих факторів один на одного. До таких факторів, перш за все, слід віднести природні явища: хмарність, температура повітря, напрям на швидкість вітру, тощо, які у сукупності не можна детерміністично врахувати при розрахунку споживання електроенергії. Також, у таку групу факторів слід віднести і період доби (день, ніч, сутінки). Маючи ретроспективні дані попереднього споживання, та дані по значенню показників факторів за попередній час, проводиться «навчання» моделей короткострокового та довгострокового споживання електричної енергії. Для успішної роботи модулю прогнозування споживання електроенергії необхідно мати: 1) ретроспективні дані споживання електроенергії на яких проводиться «навчання» моделей; 2) прогнози значень зовнішніх факторів (наприклад, прогноз погоди) для успішного створення прогнозу споживання; 3) дані споживання за минулий період прогнозу, що постійно оновлюються. Це стосується застосування як розрахункового методу, так і створення математичних моделей.

За умови використання математичних моделей для прогнозування обсягів споживання електроенергії основні етапи моделювання та прогнозування включають:

1. Збір даних для моделі (дивись рис. 4):

- дані електроспоживання з лічильників та датчиків.

- дані щодо запланованого споживання з наперед визначеним навантаженням.

- дані зміни погоди та календарні ефекти.

- показники енергоефективності за об'єктом.

2. Виділення фіксованої та випадкової компонент часових рядів електроспоживання.

3. Обробка та трансформація даних, робота з аномаліями.

4. Моделювання за класичними підходами аналізу часових рядів (моделі векторної авторегресії та ковзного середнього ARIMA, моделі експоненційного згладжування, векторні моделі авторегресії VAR та коінтеграційні моделі корекції похибки VEC для пошуку довгострокових та короткострокових зв'язків). Перевагою класичних підходів є їх простота, легкість інтерпретації та можливість використання для невеликих вибірок. Ідеальні для пояснення причинно-наслідкових зв'язків та прогнозування одночасно.

5. Моделювання за ансамблевими підходами машинного навчання (нейронні мережі, моделі градієнтного бустінгу, випадкових лісів тощо). Зазначені методи покращують точність прогнозу ітераційно за рахунок навчання на ансамблі простих моделей. Недоліком використання є складність інтерпретації та необхідність забезпечення великої кількості даних спостережень для якісного навчання. При малих вибірках прогнозні якості суттєво погіршуються.

6. Підбір оптимальних моделей з точки зору статистичної адекватності та прогнозної якості. Оцінка узагальненого середнього значення прогнозу для обраних моделей. Декомпозиція прогнозу відносно наперед визначеного фіксованого споживання та залишкового споживання.

7. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків та формулювання рішень для підвищення енергоефективності та енергозбереження.



Рисунок 4. Збір даних для моделі прогнозування електроспоживання.

Для вирішення задачі моніторингу необхідно мати пристрої збору даних поточного споживання. Для моніторингу поточного електроспоживання пропонується у системі моніторингу та короткотермінового прогнозування застосовувати окрему систему. Ця система побудована з використанням струмових датчиків, мультиплексора, мікроконтролера опитування датчиків, мікроконтролера зв'язку з сервером. Її організовано як безконтактну з мережею електропостачання. Структурну схему пристрою для моніторингу поточного електроспоживання представлено на рис. 5. Слід зазначити, що пристрій дозволяє отримувати інформацію з 16 датчиків одночасно і концентрувати її для подальшої передачі одним мультиплексором. Система слугує для опитування датчиків струму, перетворення значення струму в електричну потужність за визначений період часу. Вона являє собою пристрій, який включає наступні комплектуючі: датчики струму, мультиплексори, мікроконтролери опитування

датчиків, мікроконтролер зв'язку з сервером. Датчик струму використовується індуктивний для безконтактного зняття значень сили струму. Датчик передає аналоговий сигнал на контролер через мультиплексор. Мультиплексор виконує перемикання між 16-ма датчиками на канал АЦП мікроконтролера.

Мікроконтролер виконує опитування датчиків за допомогою АЦП, перетворює отриманий сигнал в значення сили струму в Амперах. В залежності від константного значення напруги відбувається обрахунок потужності за певний проміжок часу. Значення потужності в контролері нарощується і передається на контролер зв'язку з сервером по інтерфейсу UART, кожні 30 секунд і при умові, що контролер зв'язку з сервером отримав підтвердження, що сервер прийняв повідомлення. Якщо підтвердження від сервера не прийшло, значення потужності далі буде накопичуватись.

Мікроконтролер зв'язку з сервером отримує повідомлення з інформацією про «накопичену» величину електричної потужності від контролера опитування датчиків, формує пакет для відправки по MQTT протоколу на віддалений веб сервер, підтримує зв'язок з Wi-fi роутером для передачі інформації, при втраті з'єднання кожні 30 секунд «намагається» його відновити.

Система може бути сконфігурована для вимірювання від 1 до 16 каналів сили струму для одного пристрою. Також передавати інформацію можна за допомогою бездротового GSM або Ethernet з'єднання.

Результати проведених досліджень та вимірювань показують, що при значеннях напруги на вимірюваній лінії 210-230 В похибка вимірювань складає до 5%. При напрузі на вимірюваній лінії 220 В похибка вимірювань складає менше 1%, що є прийнятним для інформаційних систем [176, 177].

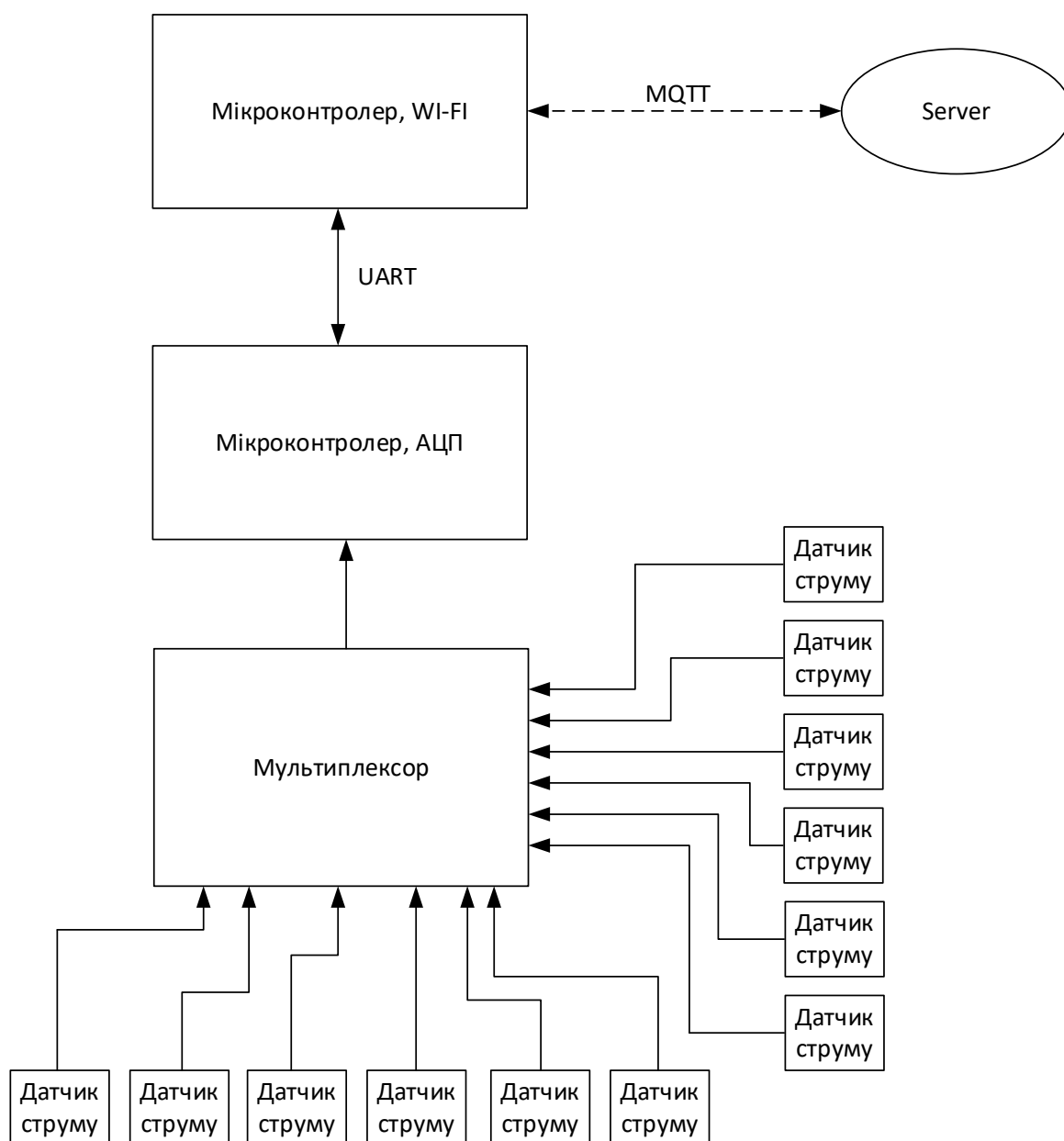


Рисунок 5. Структурна схема пристрою для моніторингу поточного електроспоживання.

Стосовно витрат на впровадження такої системи варто зауважити, що сумарна розрахункова вартість впровадження (включаючи витрати на прилади, комплектуючі, монтажні та пусконаладжувальні роботи, а також вартість ліцензії) становить близько 11,55 тис. грн. (за умови можливості підключення 16 точок вимірювання). Тоді питома вартість підключення однієї точки вимірювання має становити близько 0,72 тис. грн. Порівняння середніх вартісних показників впровадження однієї точки АСКОЕ та запропонованої інформаційної системи моніторингу і короткострокового прогнозування обсягів

споживання електроенергії закладами освіти KODROS СумДУ, яку створено за наведеними принципами та алгоритмами, показує доцільність впровадження такої системи. Результати стендових випробувань елементів системи, її дослідна експлуатація показує, що за рахунок впровадження нормативних показників електроспоживання та їх дотримання за інформаційної підтримки вказаною системою можливо зменшити обсяги споживання електроенергії навчальним закладом у межах 7 - 8%.

Проведений аналіз показав, що обсяг фактичного електроспоживання у одному із навчальних корпусів Сумського державного університету в середньому становить 1318,2 кВт*год. на тиждень. В табл. 1 наведені укрупнені розрахунки техніко-економічних показників вузла моніторингу електроспоживання.

Таблиця 1.

Техніко-економічні показники вузла моніторингу електроспоживання.

№	Показник	Розмірність	Значення
1	Вартість обладнання (прилади та комплектуючі)	тис. грн.	7,0
2	Монтажні та пусконаладжувальні роботи	25% від п.1, тис. грн.	1,75
3	Витрати на програмне забезпечення	Частина від загальних на один вузол вимірювання, тис. грн.	1,3
4	Вартість ліцензії	тис. грн.	1,5
5	Всього витрат на один вузол вимірювання	тис. грн.	11,55
6	Кількість точок вимірювання	шт.	16
7	Всього витрат на одну точку вимірювання	тис. грн.	0,72
8	Середнє тижневе споживання електроенергії	кВт*год.	1318,2
9	Кількість навчальних тижнів		32
10	Тариф	Грн/кВт*год.	2,6
11	Річні витрати на електроенергію	грн.	42182,4
12	Розрахункова економія витрат на електроенергію	8% від п. 11. грн.	3374,6
13	Простий термін окупності	років	3,4

Необхідно зазначити, що наведені в таблиці 1 розрахунки є попередніми. Практично, при вирішенні задач загального моніторингу електроспоживання, прилад, з шістнадцятьма точками контролю, може забезпечувати збір і обробку даних в двох-трьох суміжних корпусах у залежності від існуючої схеми електроживлення. Тоді простий термін окупності одного вузла вимірювання складатиме 1,2...1,4 роки. Система моніторингу окрім функції «визначення слабких місць» електроспоживання, може слугувати інструментом контролю додержання технологічних, санітарно-гігієнічних та інших нормативів (в тому числі забезпечення навчального процесу) функціонування будівель (корпусів, лабораторій та ін.) навчального закладу.

Порівняння поточних значень і тих, що отримані за допомогою модулю прогнозу надає змогу проаналізувати відхилення прогнозу та реально спожитої електроенергії. Якщо похибка прогнозу не перевищує допустиме значення, автоматично робиться висновок щодо належного функціонування систему моніторингу та правильного виконання всієї технологічної карти процесу. Якщо спостерігається суттєва розбіжність між прогнозними та реальними даними, тоді проводяться наступні заходи:

1. Корегування моделі прогнозу електроспоживання та, при необхідності, її повторне «навчання»;

2. Виявлення навантаження, яке не було занесено до переліку встановленого, а потім або корегування переліку встановленого обладнання (та технологічної карти процесу, за необхідності), або виявлення причин чому додаткове обладнання було задіяне у виробничому процесі;

3. Виявлення робіт технологічного процесу, які не були виконані.

За результатами пунктів 2) та 3) мають формуватися управлінські рішення щодо посилення виробничої дисципліни, або зміни послідовності технологічних операцій, або корегування карти технологічного процесу.

Матеріали підготовлено в процесі виконання держбюджетної теми 0118U003583 (договір № 53.17.01-01.18/20.3П).