**2. Удосконалення існуючих методів розрахунку витрат електроенергії на виробництво та транспортування тепла**

**2.1 Існуючі нормативно-правові документи щодо проведення розрахунку нормативних витрат щелектроенергії на виробництво і транспортування тепла**

Як вже було зазначено у попередній частині, існує Порядок розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії, який затверджено Наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України 02.02.2009 №12 [ААА]. Проте, даний порядок має свої суттєві недоліки, які не дозволяють остаточно спиратися на отримані при аналітичних розрахунках дані.

Згідно порядку визначення нормативних витрат електроенергії на потреби ПТ повинно проводитися в такій послідовності. Першим кроком є розрахунок індивідуальних нормативних витрат електроенергії по кожній котельні та приєднаних до неї ЦТП. Розрахунки виконуються за такими вихідними даними:

* приєднані теплові навантаження (максимальні теплові потужності систем опалення, вентиляції, середні або максимальні потужності систем гарячого водопостачання та режими споживання);
* схеми теплопостачання;
* температурні графіки регулювання систем теплопостачання;
* розрахункові температури зовнішнього повітря згідно СНиП 2.01.01–82 "Строительная климатология и геофизика";
* термін роботи систем та обладнання;
* вид палива та його питома витрата на виробництво теплової енергії кожним котлом;
* тип, марка, встановлена електрична потужність технологічного обладнання;
* паспортні або експлуатаційні аеродинамічні або гідравлічні характеристики обладнання.

Розраховані індивідуальні нормативні витрати слід порівнювати з фактичними витратами (за даними приладів обліку за попередні роки). Важливо при великих відхиленнях (більше 10%) розрахункових нормативних витрат від фактичних слід робити аналіз причин, що викликають ці відхилення, та вживати організаційно-технічні заходи щодо їх усунення.

На базі індивідуальних нормативних витрат розраховуються групові нормативні витрати по району котельних та теплових мереж та ПТ в цілому.

Індивідуальні нормативні витрати енергії по кожній котельній, є основою для розрахунку індивідуальних питомих норм для цих котельних та групових норм питомої витрати електроенергії по району котельних та теплових мереж та ПТ в цілому.

Нормативні витрати електроенергії (індивідуальні та групові)розраховуються, виходячи з метеорологічних умов, усереднених за відповідні періоди.

Нормативні витрати електроенергії на потреби ПТ визначаються за формулою, кВт∙год:

|  |  |
| --- | --- |
| *Wзаг=Wвир+Wтр+Wрозп+ΔW+Wдод*, | (2.1) |

де *Wвир*– нормативні витрати електроенергії на технологічні процеси виробництва теплової енергії, кВт∙год;

*Wтр*– нормативні витрати електроенергії обладнанням, що транспортує теплоносій від котельної до ЦТП або до ІТП споживачів, кВт∙год;

*Wрозп*– нормативні витрати електроенергії обладнанням ЦТП або ІТП , кВт∙год;

*ΔW*– нормативні втрати електроенергії при її транспортуванні і трансформації, кВт∙год;

*Wдод*– нормативні витрати електроенергії на загальновиробничі потреби,кВт∙год .

Індивідуальні нормативні витрати електроенергії на потреби і–ї котельної за розрахунковий період визначаються за формулою, кВт∙год:

|  |  |
| --- | --- |
| *Wі = ΣWij* , | (2.2) |

Де *Wij*– нормативні витрати електроенергії j-м типом (одиницею) обладнання і-ї котельні за відповідний період, кВт∙год.

Нормативні витрати електроенергії j–м типом обладнання і–ї котельні за розрахунковий період визначаються за загальною формулою, кВт∙год:

|  |  |
| --- | --- |
| *Wij = PijTij*, | (2.3) |

де *Pij*– середня споживна електрична потужність j–го типу обладнання, яке працює в межах дії і– ї котельної, кВт;

*Tij*– тривалість роботи цього обладнання протягом розрахункового періоду, год.

Групова нормативна витрата електроенергії по ПТ за розрахунковий період визначається за наступною формулою, кВт∙год:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.4) |

де*m*– кількість котелень, що входять до складу ПТ.

Індивідуальна норма питомої витрати електроенергії на потреби і-ї котельної розраховується окремо на виробництво та відпуск теплової енергії та визначається за формулами, кВт∙год/Гкал:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | (2.5) | |
|  | | (2.6) | |

де *Qвир.і*, *Qвідп.і*– кількість відповідно виробленої і відпущеної теплової енергії і-ю котельною, Гкал., яка розраховується згідно КТМ 204 України 246–99 «Галузева методика нормування витрат палива на виробництво та відпуск теплової енергії котельнями теплового господарства» [ААА].

Групова норма питомої витрати електроенергії по ПТ встановлюється на базі групових нормативних витрат електроенергії по ПТ, окремо на виробництво та відпуск теплової енергії та визначається за формулами, кВт∙год/Гкал:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | (2.7) | |
|  | | (2.8) | |

У загальному випадку залежність електричної потужності,що споживається електродвигуном відцентрового нагнітача (насоса, вентилятора, димососа), від робочих значень його технічних параметрів виражається формулою, кВт:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.9) |

де *L*– продуктивність нагнітача, м3/год.;

*H*– тиск нагнітача, м в.ст;

*k*– коефіцієнт, який враховує одиниці вимірювання технічних параметрів;

*ηн–* коефіцієнт корисної дії на валу нагнітача;

*ηе*– коефіцієнт корисної дії електродвигуна;

*ηм*– коефіцієнт корисної дії механічної передачі.

При регулюванні роботи нагнітача дроселюванням повний тиск, ККД або споживану потужність на валу нагнітача визначають за його гідравлічною або аеродинамічною характеристикою для заданої розрахункової продуктивності, за відсутності цієї характеристики необхідний тиск приймається як розрахунковий для даної гідравлічної або аеродинамічної системи.

При паралельній роботі на одну систему продуктивність кожного з нагнітачів становить:

– для двох однакових нагнітачів – 0,5 загальної продуктивності;

– для трьох однакових нагнітачів – 0,34 загальної продуктивності;

– для різних нагнітачів – визначається за графіком їх сумісної роботи.

ККД асинхронного електродвигуна в залежності від його завантаження визначається за відповідною таблицею Порядку.

**2.2 Удосконалення існуючої нормативно-правової методики проведення розрахунку нормативних витрат електроенергії на виробництво і транспортування тепла**

Недоліки та неточності існуючої методології були визначені та опрацьовані у магістерській дисертації Мазаєвої Т.В. У своїй роботі вона приводить низку недоліків порядку та визначає методологію за якою можливе вирішення існуючих проблем розрахунку та отримання більш достовірних даних при аналітичному визначені втрат електроенергії на підприємстві. До таких недоліків можна віднести:

1. В процесі розрахунку практично всіх показників, зокрема, середньої продуктивності тяго-дуттьового та насосного обладнання котельних, середньої електричної потужності, що споживається цим обладнанням тощо, виникає потреба у виборі числових значень багатьох нормативно-довідкових величин.
2. Числові значення великої кількості нормативно-довідкових величин, що використовуються, не можуть бути конкретизовані і, здебільшого, ніколи спеціально не уточнюються.
3. Посилання на аеродинамічні та гідравлічні характеристики обладнання і, навіть, рекомендації щодо необхідності визначення потрібних для розрахунку вихідних даних, перш за все, саме за такими характеристиками містяться майже в усіх підрозділах Порядку. Що розглядається. Однак при виконанні практичних розрахунків нормативних витрат електроенергії на котельних здебільшого намагаються не застосовувати аеродинамічні та гідравлічні характеристики обладнання, а здійснювати всі розрахунки в умовах їх відсутності, тим більше, що Порядок таку можливість передбачає.
4. Фактичні (експлуатаційні) умови роботи димососів та вентиляторів, зокрема температура димових газів та «холодного» повітря, а також барометричний тиск у відповідній місцевості, можуть суттєво відрізнятись від паспортних умов, для яких були побудовані аеродинамічні характеристики. Отже, перш ніж використовувати «паспортні» характеристики тяго-дуттьового обладнання, їх потрібно привести до фактичних умов експлуатації цих нагнітачів, тобто відповідним чином скоригувати. Порядок, що розглядається, не містить жодних методичних рекомендацій щодо такого коригування.
5. Виникають певні сумніви також щодо коректності визначення середньої споживаної потужності тяго-дуттьового обладнання за умови відсутності його аеродинамічних характеристик.
6. Для одержання обґрунтованих величин споживання електроенергії тривалість роботи також має бути «нормативною». Однак у Порядку, що розглядається, числові значення цих показників певною мірою також приймаються без належного обґрунтування.
7. Порядок розрахунку нормативних витрат електричної енергії підприємствами теплоенергетики фактично не містить жодних методичних рекомендацій щодо проведення контролю виконання встановлених норм питомої витрати електроенергії, зокрема, на котельних.[AAA]

Усі наведені вище пункти були оброблені, вдосконалені та використані при розрахунках у дисертації, тому при побудові алгоритмів розрахунку будемо спиратись на перероблені дані для відтворення точного та достовірного розрахунку.

**2.3.Проблема нечіткого характеру величин**

Зважаючи на те, що більшість зазначених проблем була вирішена при аналітичному способі розрахунку, проблема вибору числових значень багатьох нормативно-довідкових величин залишається невирішеною. У довідкових даних надається великий перелік таких значень та надаються рекомендації що до їх використання, проте усі значення з цього списку мають дуже великий діапазон розбіжностей та є суттєво суб’єктивними при виборі та аналізі, що ставить під сумнів точність отриманих даних. Наведений у Порядку перелік можна побачити у Таблиці 1. Очевидним стає той факт, що при коливанні значень у таких діапазонах, не є можливим заключити, що розрахункові значення є точними, а висновки зроблені на підставі цих розрахунків доцільними.

Треба також відмітити, що електроспоживання виробничих об’єктів має випадковий характер, а електробаланси складаються в умовах невизначеності певних вихідних даних, можливість поліпшення результатів побудови електробалансів виробничих об’єктів необхідно шукати в напрямку подальшого удосконалення та розвитку ймовірнісно-статистичний підходу.

Даний підхід має під собою ідею, що побудова більш достовірних, обґрунтованих балансів споживання електроенергії ґрунтується на обробці наявних статистичних даних обліку електроспоживання та виробництва продукції з використанням відповідних експертних методів, методів теорії ймовірності та математичної статистики.

Застосування даного методу дозволяє скласти більш повну та вдосконалену картину побудови витратної частини побудови енергобалансу на підприємстві, беручи до уваги ймовірнісний характер певних величин та суб’єктивний характер отримання цих величин.

**2.4 Основні положення та алгоритм розрахунку ймовірнісно-статистичного підходу до побудови електробалансу**

Через те що електроспоживання виробничих об’єктів має випадковий характер через наявність не чітких виробничих параметрів, а їх електробаланси складаються в умовах невизначеності вихідних даних, то можливість поліпшення результатів побудови електробалансів можна відобразити у напрямку застосування, удосконалення та подальшого розвитку ймовірнісно-статистичний підходу.

Ідея даного підходу полягає в тому, що побудова більш достовірних, обґрунтованих балансів споживання електроенергії ґрунтується на обробці наявних статистичних даних обліку електроспоживання та виробництва продукції з використанням відповідних експертних методів, методів теорії ймовірності та математичної статистики.[AAA]

Через те що метод спирається на експертний метод, це потребує виконання опитування фахівців-експертів, компетентних у відповідній сфері діяльності. На підставі обробки результатів експертного опитування визначаються найбільш ймовірні інтервали значень відповідних вихідних величин. Побудова обґрунтованого та достовірного електробалансу являє собою процес знаходження найбільш ймовірних значень нечітких вихідних параметрів.

Однак даний підхід має свої недоліки. Підхід не враховує зв’язки між нечітко заданими параметрами обладнання, обсягами виробництва продукції та споживання енергії, що не дозволяє вважати одержані баланси достатньо обґрунтованими.

Таким чином, для підвищення обґрунтованості побудови достовірних балансів електроспоживання з застосуванням ймовірнісно-статистичного підходу є необхідним знаходження та використання існуючих аналітичних або емпіричних залежностей між обсягами виробництва продукції, параметрами технологічних процесів та споживанням електричної енергії. Для окремих виробничо-господарських та технологічних об’єктів такі залежності існують і є достатньо об’єктивними, зокрема, це стосується таких об’єктів як котельні [ААА].

Найбільш повно результати розрахунку витратної частини котельної можна побачити у роботі Ройтер А.В., де був проведений поний опис та аналіз використання ймовірнісно-статистичного методу на котельних.

**2.4.1 Загальний алгоритм побудови електробалансів котельних із застосуванням ймовірнісно-статистичного підходу**

На рисунку 2.6 представлений загальний алгоритм побудови електробалансів котельних ззастосуванням ймовірнісно-статистичного підходу.

Застосування експертних методів для визначення найбільш ймовірного діапазону значень нечітких технічних параметрів і ймовірності появи окремих значень.

Визначення найбільш достовірного

( ймовірного) електробалансу

Імітаційне моделювання параметрів технологічного процесу (Монте-Карло)

Перевірка реальності побудови електробалансів

Побудова розрахункових моделей електроспоживання

Генерування можливих комбінацій значень технологічних параметрів

Рисунок 2.6– Загальний алгоритм побудови електробалансів котельних

На вході алгоритму присутні всі необхідні для розрахунку параметри технологічного процесу, в тому числі нечіткі дані, які будуть уточнюватися в процесі побудови балансу.

Алгоритм містить шість основних кроків, кожен з яких відіграє важливу роль у побудові електробалансів та виконується в конкретній послідовності.

На виході алгоритму отримуємо технічно та технологічно обґрунтований, достовірний баланс електроспоживання котельної, структура витратної частини якого є найбільш ймовірною [ААА].

**2.4.2Експертне опитування**

Першим етапом побудови електробалансів котельних з застосуванням ймовірнісно-статистичного підходу є проведення експертного опитування. З цією метою серед інженерно-технічних працівників, експлуатаційного персоналу визначається група спеціалістів, робота яких безпосередньо пов’язана з обладнанням, яке необхідно приймати до уваги при побудові відповідного електробалансу.

Головним завданням експертного опитування є встановлення інтервалів можливих значень кожного з нечітких вихідних параметрів, які у подальшому необхідно використовувати при побудові електробалансу, а також оцінка ймовірності знаходження окремих їх значень у відповідних інтервалах.

Перед тим, як приступити до опитування експертів необхідно попередньо визначити діапазони теоретично можливих числових значень нечітких технічних та технологічних параметрів, які будуть максимально близькими до реальних їх значень за конкретних умов виробництва. Встановити зазначені діапазони значень нечітких параметрів можна на підставі відповідної методичної довідкової літератури, зокрема для котельних, - [15].

Опитування спеціалістів здійснюється за допомогою анкети, в якій наведено діапазони теоретично можливих значень всіх нечітких технологічних та інших виробничих параметрів, що розглядаються. Кожен з зазначених діапазонів значень нечітких вихідних параметрів має бути розділений на декілька інтервалів, на межі яких знаходяться можливі рівні числових значень наведених в анкеті нечітких показників.[AAA]

**2.4.3 Генерування можливих значень нечітких виробничих параметрів**

Коректне застосування для побудови балансів споживання електричної енергії методів математичної статистики та теорії ймовірності потребує наявності досить великої кількості статистичних даних про обсяги енергоспоживання, про числові значення технологічних та інших виробничих параметрів, які отримати на реальному підприємстві в умовах обмеженої кількості ресурсів і часу практично неможливо. Іншим, більш перспективним шляхом вирішення цієї задачі є використання псевдо реальних статистичних даних, отриманих на основі експертного опитування та використанні методів імітаційного моделювання.

Другим етапом побудови електробалансів котельних з використанням ймовірнісно-статистичного підходу є формування псевдо реальних статистичних даних про числові значення нечітких вихідних параметрів, необхідних для вирішення цієї задачі.

На основі побудованих за результатами експертного опитування полігонів частот можливої появи значень всіх нечітких технологічних та інших виробничих параметрів, що розглядаються, здійснюється генерування псевдо реальних значень цих параметрів.

Очевидно, що при формуванні вибірок таких псевдо реальних даних про величини відповідних нечітких параметрів необхідно враховувати визначені в ході експертного опитування суб’єктивні ймовірності, з якими реальні середні величини цих параметрів можуть знаходитись в межах тих чи інших інтервалів можливих їх значень.

Тому в процесі генерування зазначених псевдо реальних даних з кожного інтервалу, в якому може знаходитись фактичне значення невизначеного вихідного параметру випадковим чином вибирається певна кількість псевдо реальних величин, пропорційна відповідній ймовірності їх появи.

Таким чином, результатом другого етапу побудови електробалансів котельних з використанням ймовірнісно-статистичного підходу є формування достатньо великих за обсягом вибірок псевдо реальних значень всіх нечітких виробничих параметрів, які у подальшому будуть використані для розрахунку нормативних витрат електричної енергії як окремими видами обладнання, так і на котельній в цілому.[AAA]

**2.4.4Комбінуваннята побудова розрахункових моделей електроспоживання**

Третій етап представляє собою формування розрахункових моделей електроспоживання, тобто, деякої, відносно великої кількості псевдо-реальних балансів едектроспоживання.

Процес формування розрахункової моделі складає з себе серію ітеративних методів. Для виконання даної процедури необхідна побудована раніше вибірка псевдо-реальних веииннечіких технологічних параметрів, на базі яких відбувається генерування можливих комбінацій числових значень

Комбінації створюються довільним чином, проте їх варіації не повторюються.

Загальна кількість таких комбінацій визначається за формулою:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

де *k –* кількість нечітких вихідних даних;

*n –* загальна кількість псевдо реальних значень всіх нечітких технологічних параметрів.

Кожна з одержаних таким чином комбінацій нечітких виробничих параметрів являє собою окремий набір чітко визначених вихідних даних, за якими може бути побудована одна з можливих розрахункових моделей електроспоживання котельної.

Кожна модель, одержана з використанням зазначених алгоритмів являє собою один з можливих варіантів витратної частини балансу споживання електроенергії, для кожного з яких має бути визначено відповідний загальний обсяг витрати електричної енергії на котельній *(W).* Приклад таблиці результатів визначення загального обсягу електроспоживання котельної за окремими розрахунковими моделями, які відповідають певним комбінаціям значень нечітких вихідних параметрів, представлено у вигляді таблиці 2.3.

Кожному з вибіркових значень будь-якого з нечітких виробничих показників відповідає певна, визначена експертним шляхом ймовірність їх появи. Спираючись на ці «індивідуальні» ймовірності появи окремих величин нечітких вихідних параметрів може бути розрахована «сумарна» ймовірність появи кожної з можливих комбінацій значень всіх виробничих параметрів. Результати розрахунку зазначеної «сумарної» ймовірності для окремих комбінацій значень нечітких виробничих параметрів також записуються в таблицю, приклад якої наведено у вигляді таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № комбінації | W, кВт∙год | P |
| 1 | W1 | P1 |
| 2 | W2 | P2 |
| 3 | W3 | P3 |
| … | … | … |
| n | Wn | Pn |

**2.4.5 Перевірка правдоподібності побудови розрахункових моделей та визначення найбільш ймовірного електробалансу котельної**

Кожен з одержаних варіантів електробалансу котельної необхідно перевірити з точки зору його правдоподібності. З цією метою загальний розрахунковий обсяг споживання електроенергії на котельній, який відповідає тому чи іншому варіанту її електробалансу, порівнюється з фактичними даними обліку витрат електроенергії на котельній за відповідний період і перевіряється, чи знаходиться різниця між цими величинами у межах певної, заздалегідь прийнятої припустимої похибки. Наприклад, якщо припустима похибка приймається рівною 5%, то загальний розрахунковий обсяг споживання електроенергії на котельній *W*повинен знаходитись в наступних межах :

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |

де *Wл*− фактичні дані обліку витрат електроенергії, кВт.

Якщо умова не виконується, то одержаний варіант електробалансу котельної не приймяється тому що . неправдоподібним. Якщо ж зазначена умова виконується, то можна вважати, що побудований варіант електробалансу є правдоподібним і може використовуватись для подальшого аналізу.

Отже, результатом виконання кожної ітерації процедури формування розрахункових моделей споживання електричної енергії на котельній є один із можливих і правдоподібних варіантів витратної частини її електробалансу. Кожен з таких варіантів розрахункового електробалансу відповідає конкретній комбінації можливих значень нечітких виробничих параметрів

Наведена процедура побудови розрахункових моделей електроспоживання повторюється, починаючи з генерування нових можливих комбінацій числових значень нечітких виробничих параметрів, і продовжується, доки не буде отримана необхідна, достатньо велика кількість правдоподібних варіантів балансів споживання електроенергії на котельній.

Таким чином, останнім етапом застосування ймовірнісно-статистичного підходу до побудови балансів споживання електричної енергії на котельних є порівняння всіх одержаних на попередньому етапі правдоподібних варіантів цих електробалансів за величиною «сумарної» ймовірності появи кожного з них. При цьому найбільш достовірним слід вважати той варіант витратної частини балансу споживання електроенергії, ймовірність появи якого є найбільшою.

**2.4.Розробка та використання спеціального програмного продукту для проведення розрахунку витратної частини підприємства з використання ймовірнісно-статистичного методу**

Розрахунок з використанням ймовірнісно-статистичного методу потребує великої кількості розрахунків та використання певних алгоритмів, що може бути дуже складно у відтворенні та може потребувати додаткового обладнання або додаткових програних продуктів для досягнення встановленої мети. При використанні певних програмних продуктів стає необхідним відтворення алгоритмів розрахунку та побудова математичної моделі розрахункового об’єкта. При проведенні розрахунків на достатньо великій кількості об’єктів стає очевидним той факт, що алгоритм виконання дій для відтворення розрахункової моделі повторюється, що не є доцільним для експерта, який виконує розрахунок, повторювати виконані ним дії кожного разу на підприємствах з однаковою структурою та способом розрахунку витратної частини балансу.

Можливим є спосіб відтворення однакових алгоритмів за допомогою конкретних комп’ютерних продуктів, проте, такі продукти не мають спеціалізованого призначення для подібного використання, не дуже зручні у подальшому використанні та, в силу свого відтворення, мають додаткові пакети даних, які зазвичай не використовуються у описаному вище алгоритмі.

Ця робота має під собою підставу запропонувати рішення, що складається з створення спеціального програмного продукту, який би повністю відповідав поставленим вимогам з точки зору достовірності розрахунку витратної частини підприємства, коректного використання наведених вище алгоритмів, таких як: метод розрахунку витратної частини балансу підприємства, наведений у нормативній документації з усіма корегуваннями та виправленнями та метод побудови електробалансів підприємства за допомогою ймовірнісно-статистичного методу. Подібна програма повинна відтворювати псевдо-реальні значення підприємства, на якому вона використовується, спираючись на вхідні дані, які є підставою для розрахунків, отримання моделей та складання балансів.

Суттєво така програма буде відрізнятися від використання спеціальних програмних продуктів тим, що вона буде відповідати конкретним цілям розрахунку конкретним методом, буде доцільною у використанні при проведенні розрахунків, буде нести стандартизований характер, що можна буде використовувати для більш вірогідної та достовірної оцінки результатів.

Стандартизований програмний продукт, розроблений на використання у конкретних умовах може бути використаний необхідну кількість разів, не втрачаючи час на перебудову моделі виробництво, а досягати однаково якісного результату змінюючи вхідні дані.

При детальному розгляданні наведеного вище алгоритму розрахунку, стає очевидним той факт, що при кількісному збільшенні розрахунків, відповідна кількість ітерацій, необхідних для отримання бажаного результату зростає експоненціально, що робить майже неможливим контроль та моніторинг системами обліку витратної частини балансу електричної енергії. Проте, програмний продукт, створений та розроблений для цих потреб здатен полегшити дану задачу, звести усі необхідні розрахунки до мінімуму та має потенціал відтворення у системах автоматизації та моніторингу для покращення енерговикористання підприємства.

**2.5. Розробка алгоритму програмного продукту для розрахунку витратної частини балансу електричної енергії на виробничому об’єкті**

При розробці та використанні програмного продукту будемо спиратися на розрахунок котельної, як приклад використання існуючого алгоритму розрахунку з використанням методології наведеної у Порядку та ймовірнісно-статистичного методу, для отримання найбільш повних та достовірних даних.

Розробка програмного продукту завжди базується на певному алгоритмі, який відображає логіку та структуру продукту та найбільш детально розкриває суть розрахунків.

Алгоритм даної програми складається з декількох етапів, які певною мірою пов’язані між собою та потребують ітеративного повторення, що в свою чергу потребує певної кількості програмних ресурсів для відтворення, тому що значною мірою, кількість операцій, необхідна для проведення розрахунків залежить від кількості пам’яті комп’ютера, яка може бути задіяна одночасно для проведення усіх необхідних розрахунків.

Виконання алгоритму програмою зводиться до ітеративного виконання методологічного розрахунку наведеного у Порядку з наведеними виправленнями та корегуваннями для знаходження шуканого значення споживання електричної енергії розробленою моделлю. Після цього, виконання приведених вище дій повторюється, проте при нових змодельованих, не відтворених раніше даних, що ілюструє псевдо-реальну унікальну ситуацію, яка розглядається на окремому об’єкті. Така кількість ітерацій повторюється необхідну кількість разів, яка залежить від кількості обраних параметрів та, відповідно, кількості комбінацій, які можна скласти з ними. Після проведення усіх ітерацій ми отримуємо певну вибірку з отриманих значень споживання електричної енергії, які були відтворені певними моделями об’єктів з ймовірнісно-випадковими значеннями нечітких виробничих параметрів, взятих на основі вибірки експертного оцінювання. Також ми отримуємо вірогідність випадання найбільш достовірних значень розрахованих можливих значень витратної частини електричного балансу, на основі яких ми можемо визначити найбільш вірогідну подію, яка відповідає найбільш вірогідному та точному значенню витрати електричної енергії на об’єкті який розглядається. Наглядна схема загального алгоритму системи наведена у додатку (Додаток АБВ).

**2.5.1 Розрахунок нормативних витрат електроенергії тяго-дуттьовим обладнанням**

Кожна котельна установка продуктивністю вище ніж 1,5 Гкал/год обладнана індивідуальним тяго–дуттьовим обладнанням з регулюванням продуктивності направляючими апаратами та дроселюванням шиберами.

Споживана електродвигуном димососу або дуттьового вентилятора потужність розраховується за формулою, кВт:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.10) |

де *k*– коефіцієнт запасу (для димососів – 1,2;для вентиляторів – 1,1);

*V*– середня за розрахунковий період продуктивність тяго–дуттьового обладнання, м3/год.;

*Нр*– повний тиск, який створює тяго–дуттьове обладнання при середній за розрахунковий період продуктивності,кг/м2;

*ηн*– експлуатаційний коефіцієнт корисної дії на валу нагнітача (димососа або вентилятора);

*ηм–* коефіцієнт корисної дії, який враховує втрати впідшипниках;

*ηе–* коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Середня продуктивність тяго–дуттьового обладнання визначається за наступними формулами.

Середня продуктивність вентилятора розраховується по формулі, м3/год:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.11) |

Середня продуктивність димососа розраховується по формулі,м3/год:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.12) |

де *bk.i*– норма питомої витрати палива на виробництво теплової енергії для і–го котла при плановому навантаженні, кг у.п./Гкал (приймається за режимними картами або розраховується згідно КТМ 204 України 246–99 "Галузева методика нормування витрат палива на виробництво та відпуск теплової енергії котельнями теплового господарства"[16]);

*Qki*– плановий обсяг виробництва теплової енергії котлом за розрахунковий період, Гкал;

*αх.п*– коефіцієнт надлишку повітря в топці;

*αд.г*. – коефіцієнт надлишку повітря в димових газах (середні значення цих коефіцієнтів визначаються згідно відповідних таблиць Порядку);

*kе*– тепловий еквівалент перерахування натурального палива в умовне визначається за формулою:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.13) |

де *Qр.н.*– нижча теплота згорання робочого складу палива, ккал/кг;

*V1*– теоретичний питомий об'єм повітря, необхідного для згорання розрахункової одиниці натурального палива, нкуб.м/кг;

*V2*– теоретичний питомий об'єм димових газів, що утворюються при згоранні розрахункової одиниці натурального палива, нкуб.м/кг(дані величини наведені в технічній літературі, визначаються розрахунком або режимними випробуваннями котла);

*Т*– тривалість роботи тяго–дуттьового обладнання протягом розрахункового періоду, год;

*tх.п*. – температура "холодного" повітря,°С;

*tд.г*. – температура димових газів, °С.

Повний розрахунковий тиск нагнітача для певного режиму роботи котла визначається за даними аеродинамічних розрахунків або випробувань котельного агрегату.

Експлуатаційний коефіцієнт корисної дії на валу нагнітача визначається за паспортною аеродинамічною характеристикою тяго–дуттьового обладнання для розрахованої продуктивності та для розрахункового тиску, приведеного до "паспортних" умов складання характеристики. Приведений тиск визначається за формулою, кг/ м2:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.14) |

де *Kρ*– коефіцієнт приведення, який розраховується за формулою:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.15) |

де *tр*– розрахункова температура повітря або димових газів, °C;

*tпасп.*– температура, за якої складена паспортна характеристик анагнітача, °C;

*ρ0*– густина димових газів або повітря за "нормальних" умов, кг/нкуб.м.

За відсутності аеродинамічних характеристик обладнання споживана потужність електродвигуна тяго–дуттьового обладнання (за наявності направляючого апарата) може бути визначена як частка від номінальної потужності з урахуванням експлуатаційних коефіцієнтів корисної дії за формулою, кВт:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.16) |

де *Рпасп.ном*. – номінальна паспортна потужність нагнітача, кВт, яка розраховується за формулою:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.17) |

де *Нпасп.ном*– паспортний номінальний тиск нагнітача,кгс/кв.м;

*Vпасп.ном* – паспортна номінальна продуктивність нагнітача, куб.м/год;

*ηпасп.ном*– паспортний номінальний коефіцієнт корисної дії нагнітача;

*Kексп*– експлуатаційний коефіцієнт, який визначається залежно від відношення розрахункової продуктивності нагнітача до номінальної. Експлуатаційний коефіцієнт визначається згідно відповідної таблиці Порядку.

Алгоритм розрахунку нормативних витрат електроенергії тяго-дуттьовим обладнанням котельної можна представити у вигляді блок-схеми, яка зображена на рисунку 2.1.

Згідно наведеного алгоритму розрахунок проводиться в наступній послідовності:

1. Розрахунок продуктивності обладнання*(Vд,Vв)*за формулами (2.11-2.12).
2. Перевірка наявності аеродинамічних характеристик.
3. При наявності аеродинамічної характеристики експлуатаційні значення тиску та ККД обладнання *(Нр,ɳн)* визначаються за цією характеристикою.
4. При відсутності аеродинамічної характеристики для подальших розрахунків приймаються паспортні дані обладнання *(V, Н, ɳ).*
5. Розрахунок паспортної номінальної потужності обладнання *(Рпасп.ном)* здійснюється за формулою (2.17).
6. За формулою (2.16) виконується розрахунок середньої електричної потужності димососа/вентилятора.
7. Визначення нормативної витрати електроенергії *(W)*даним обладнанням.

7.W

Вихідні дані

4.V, Н, ɳ

3.Нр, ɳн

1.Vд,Vв

2.

5.Рпасп.ном

6.Р

так

ні

Рисунок 2.1−Алгоритм розрахунку нормативних витрат електроенергії тяго-дуттьовим обладнанням котельної.

**2.5.2 Розрахунок нормативних витрат електроенергії насосами**

Обсяг споживання електроенергії двигуном насоса будь-якого призначення визначається за загальною формулою (2.3).

Середня потужність, що споживається електродвигуном насоса визначається за формулою, кВт:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.18) |

де *G*– середня продуктивність насоса, т/год;

*H*– повний тиск насоса за гідравлічною характеристикою для даної продуктивності, м в.ст;

*ηн*– ККД на валу насоса (визначається за гідравлічною паспортною або експлуатаційною характеристикою);

*ηе*– ККД електродвигуна;

*ηм*– коефіцієнт корисної дії, який враховує втрати в підшипниках.

ККД у режимах, близьких до номінальних, визначений за паспортною характеристикою, коригується за формулою:

|  |  |
| --- | --- |
| *ηн = ηпасп. – ηкр. – ηнапр**.,* | (2.19) |

де *ηпасп.* – паспортний ККД насоса, %;

*ηкр*– критичне значення ККД насоса, %;

*ηнапр.*– зниження ККД внаслідок тривалої експлуатації, %.Визначається за відповідним графіком.

Необхідна кількість капремонтів визначається залежно від терміну напрацювання насоса за рік:

8000 год/рік – міжремонтний термін 2 роки;

5000 год/рік – міжремонтний термін 3 роки;

4000 год/рік – міжремонтний термін 4 роки.

Для електродвигуна, обладнаного частотним регулятором, враховується ККД регулятора та втрати електроенергії при зміні частоти струму за формулою, кВт:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.20) |

де *G1*– продуктивність в мережі при зміненому навантаженні мережі, т/год;

*H1* – тиск в мережі при зміненому навантаженні мережі, м в.ст;

*ηн*– номінальний ККД насоса;

*ηе*– номінальний ККД двигуна.

**2.5.2.1 Розрахунок нормативних витрат енергії рециркуляційними насосами**

Витрата електроенергії рециркуляційним насосом розраховується за формулами (2.3) та (2.18).

Середня загальна продуктивність рециркуляційних насосів котельної визначається за формулою, т/год.:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.21) |

Де *Gм*– витрата мережевої води, т/год.;

*tк.min* – мінімальна допустима температура води на вході в сталевий котел за умови недопущення корозії, °С;

*τ1, τ2*– середня за розрахунковий період роботи котлатемпература відповідно в подавальному та зворотному трубопроводах теплової мережі, °С;

*t к*– температура води на виході з котла, °С.

Середнє теплове навантаження на опалення розраховується по формулі, Гкал/год:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.22) |

де  – середнє теплове навантаження котельні, Гкал/год;

 – середнє теплове навантаження на ГВП, Гкал/год;

 – нормативні витрати тепла на власні потреби котельні;

Тиск та ККД насоса визначаються за гідравлічною характеристикою відповідно до продуктивності.

При відсутності гідравлічної характеристики насоса величина тиску орієнтовно становить 15 – 25 м в.ст. – для котлів продуктивністю до 10 Гкал/год і 25– 35 м в.ст.– для котлів продуктивністю від 10 до 50 Гкал/год.

На рисунку 2.2 представлений алгоритм розрахунку нормативних витрат електроенергії рециркуляційними насосами у вигляді блок-схеми.

ні

так

10.Рi

9.

12. Pдв

13.Wсум

7.V, Н, ɳ

6.Нр, ɳн

Вихідні дані

4.

5.

3.

2.

1.

8

так

ні

11.ɳдв

Рисунок 2.2− Алгоритм розрахунку нормативних витрат електроенергії рециркуляційними насосами

Розрахунок проводиться в наступній послідовності:

1. Величина середньої за розрахунковий період роботи котла температури в подавальному трубопроводі теплової мережі розраховується по наступній формулі, °С:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.23) |

1. Розрахунок витрати мережевої води для котельної.
2. Розподіл витрат мережевої води між котлами визначається по формулі, т/год.:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.24) |

1. Розрахунок продуктивності рециркуляційного насоса *(Gрец)* кожного з котлів здійснюється за формулою (2.21).
2. Перевірка наявності гідравлічних характеристик насосів.
3. Визначення експлуатаційного тиску та ККД *(Нр*, *ɳн)*кожного насоса, за наявності гідравлічних характеристик здійснюється за цими характеристиками.
4. При відсутності гідравлічної характеристики для подальших розрахунків приймаються паспортних дані обладнання*(V, Н, ɳ).*
5. Виконується перевірка ступеню наближення режиму роботи насоса до номінального.
6. Коригування експлуатаційного ККД насосів.
7. Розрахунок середньої електричної потужності насосів*(Pi).*
8. Величина ККД електродвигуна насоса знаходиться зі співвідношенні:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.25) |

1. Розрахунок середньої потужності, що споживається електродвигуном кожного насосу виконується по наступній формулі, кВт:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.26) |

1. Загальні нормативні витрати електричної енергії рециркуляційними насосами визначаються, як сума нормативних витрат електроенергії кожним рециркуляційним насосом *(Wсум)*.

**2.5.2.2 Розрахунок нормативних витрат електроенергії насосами сирої води**

Нормативні витрати електроенергії для насосів сирої води визначаються за формулами (2.3) та (2.18).

Для розрахункової продуктивності за гідравлічною характеристикою визначаються загальний тиск та ККД насоса.

За відсутності гідравлічної характеристики величину тиску насоса приймають в межах 25–30 м в.ст., ККД насоса приймається рівним 0,7.

Середня продуктивність насоса сирої води для котелень зі сталевими водогрійними котлами визначається за наступною формулою,т/год.:

|  |  |
| --- | --- |
| *Gс.в. = 1,2(Gпідж + k Gт.м)**,* | (2.27) |

де *1,2* – коефіцієнт, який враховує втрати води на технічні потреби ХВО;

*Gт.м* – витрати мережевої води, т/год;

*k* – коефіцієнт, який враховує втрати сирої води на внутрішні потреби, k=1– 2%.

Середня продуктивність підживлення рівна:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.28) |

де  – коефіцієнт, що визначає втрати води в тепловій мережі;

 – загальний об’єм трубопроводів зовнішньої та внутрішньої мережі теплопостачання, м3;

 – густина води при середній температурі у прямому та зворотному трубопроводах,т/м3.

На рисунку 2.3 представлений алгоритм розрахунку нормативних витрат електроенергії насосами сирої води у вигляді блок-схеми.

10.W

Вихідні дані

4. Н, ɳ

3.Нр, ɳн

1.

2.

7.Рсер

8.ɳдв

9. Рдв

5.

6.

так

ні

Рисунок 2.3 − Алгоритм розрахунку нормативних витрат електроенергії насосом сирої води

Розрахунок проводиться в наступній послідовності:

1. Розрахунок продуктивності насоса *(Gс.в)* виконується за формулою (2.27).
2. Перевірка наявності гідравлічної характеристики насосу.
3. Визначення експлуатаційних значень тиску та ККД *(Нр, ɳн)*за гідравлічною характеристикою.
4. Визначення значень тиску та ККД *(Н, ɳ)* за Порядком при відсутності гідравлічної характеристики.
5. Виконується перевірка ступеню наближення режиму роботи насоса до номінального.
6. Коригування ККД насосу.
7. Визначення середньої потужності, що споживається насосом *(Р).*
8. Розрахунок ККД електродвигуна*(ɳдв)* насоса виконується по формулі (2.25).
9. Розрахунок середньої потужності, що споживається електродвигуном *(Рдв)* насоса виконується по формулі (2.26).
10. Розрахунок нормативних витрат електроенергії насосом сирої води*(W)*.

**2.5.2.3 Розрахунок нормативних витрат електричної енергії для підживлюючих насосів**

Нормативні витрати електроенергії для підживлюючи насосів визначаються за формулами (2.3) та (2.18).

Витрата води на підживлення мережі за опалювальний сезон розраховується по формулі, т/год:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.28) |

де  – тривалість опалювального сезону, год.

Тривалість роботи підживлюючого насоса розраховується по наступній формулі, год.:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.29) |

де ** – номінальна продуктивність насоса, т/год.

На рисунку 2.4 представлений алгоритм розрахунку нормативних витрат електроенергії підживлюючими насосами у вигляді блок-схеми.

Розрахунок проводиться в наступній послідовності:

1. Розрахунок необхідної кількості води () для підживлення мережі протягом сезону визначається по формулі(2.28).

2. Розрахунок тривалості безперервної роботи насосу *(Тсез)* протягом року визначається по формулі (2.29).

3. Перевірка наявності гідравлічної характеристики насосу.

4.Визначення експлуатаційних значень тиску та ККД *(Нр, ɳн)*за гідравлічною характеристикою.

1. Визначення значень тиску та ККД *(Н, ɳ)*за Порядком.

6. Коригування ККД насосу.

7. Розрахунок середньої потужності, що споживається насосом *(Рн).*

8. Розрахунок ККД електродвигуна насоса *(ɳдв)* виконується по формулі (2.25).

9. Розрахунок середньої потужності, що споживається електродвигуном насоса *(Рдв)*виконується по формулі (2.26).

10. Розрахунок нормативних витрат електричної енергії *(W)* підживлюючим насосом.

так

ні

10.W

Вихідні дані

5.Н, ɳ

4.Нр, ɳн

3.

6.

7.Рн

9.Рдв

1.

2.

8. ɳ дв

Рисунок 2.4 − Алгоритм розрахунку нормативних витрат електроенергії підживлюючими насосами

**2.5.2.4 Розрахунок нормативних витрат електричної енергії мережевими насосами**

Нормативні витрати електроенергії для мережевих насосів визначаються за формулами (2.3) та (2.18).

Середня продуктивність мережевих насосів розраховується по формулі, т/год.:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.30) |

де  – витрата мережевої води, т/год;

 – середня продуктивність підживлення теплової мережі, т/год.

Кількість мережевих насосів визначається наступним чином:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.31) |

Середня продуктивність одного мережевого насоса розраховується по формулі, т/год:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.32) |

На рисунку 2.5 представлений алгоритм розрахунку нормативних витрат електроенергії мережевими насосами у вигляді блок-схеми.

Розрахунок проводиться в наступній послідовності:

1. Розрахунок загальної кількості *(N)* мережевих насосів визначається по формулі (2.31).

2. Розрахунок середньої продуктивності кожного мережевого насосу  виконується по формулі (2.32).

3. Розрахунок середньої продуктивності мережевих насосів визначається по формулі (2.30).

4. Перевірка наявності гідравлічної характеристики насосу.

5. Визначення експлуатаційних значень тиску та ККД *(Нр, ɳн)* за гідравлічною характеристикою.

6. Визначення значень тиску та ККД *(Н, ɳ )* за Порядком.

7. Перевірка ступеню наближення режиму роботи кожного насоса до номінального.

8. Коригування ККД.

9. Визначення середньої електричної потужності, що споживається кожним мережевим насосом *(Рі).*

10. Розрахунок ККД електродвигуна насоса *(ɳдв)*виконується по формулі (2.25).

11. Розрахунок потужності, що споживається електродвигуном мережевого насоса *(Рдв)*виконується по формулі (2.26).

12. Розрахунок нормативних витрат електричної енергії *(W)*насосами.

Вихідні дані

5.Нр, ɳн

1.

4.

8.

так

ні

2.

3.

12.W

6. Н, ɳ

9.Рі

10.ɳдв

11.Рдв

7.

Рисунок 2.5 − Алгоритм розрахунку нормативних витрат електричної енергії мережевими насосами

**2.5.2.5 Розрахунок нормативних витрат електроенергії насосами хімводообробки, іншими дрібними нагнітачами та допоміжним обладнанням котельних**

Для розрахунку споживання електроенергії насосами ХВО, іншими дрібними нагнітачами та допоміжним обладнанням котельних використовується формула, кВт:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.33) |

де *Pуст* – установлена потужність (паспортна) електроприймача, кВт;

*Kn* – коефіцієнт використання електричної потужності, визначається згідно за відповідною таблицею Порядку;

*Tm*– кількість годин використання максимуму потужності за даними експлуатаційних підрозділів підприємства, год;

*n*– кількість енергоприймачів.

**2.6. Експериментальне використання прототипу програмного продукту для розрахунку витрат електричної енергії ймовірнісно-статистичним методом на прикладі котельної**