

УДК 625.70

**МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ ПІДПРИЄМСТВ
ДОРОЖНЬОЇ ГАЛУЗІ ТЕПЛОВІЗІЙНИМ МЕТОДОМ**

Дмитрієв М. М., Гамеляк І. П., Попелиш І. І., Коц І. В.

Однією із суттєвих складових зменшення собівартості виготовлення асфальтобетонної суміші є застосування енергозберігаючих технологій при її виготовленні. Встановлено, що середні енерговитрати на асфальтобетонних заводах становлять приблизно 0,40 ГДж/т. Такі значні енерговитрати залежать від недосконалої теплоенергетичної системи технологічного устаткування, що допускає великі втрати теплової енергії при здійсненні технологічного процесу. Окрім того, встановлено, що підвищення енергоефективності технологічного процесу може бути досягнуте за рахунок зменшення початкової вологості складових інгредієнтів асфальтобетонної суміші. Запропоновано застосування тепловізійного методу для проведення енергоаудиту і встановлення реальної картини поточної ситуації з енерговикористанням на підприємстві, що надає можливість виявити пріоритетні напрямки для подальшої роботи з енергозбереження.

Ключові слова: енерговитрати, енергозбереження, енергетичний аудит, тепла енергія, тепловізійний метод обстеження, асфальтобетонний завод, тепловий потік, температура поверхні, теплограма, теплоізоляція.

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА ПРЕДПРИЯТИЙ
ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ ТЕПЛОВИЗИОННЫМ МЕТОДОМ**

Дмитриев Н. Н., Гамеляк И. П., Попельш И. И., Коц И. В.

Одной из существенных составляющих уменьшения себестоимости изготовления асфальтобетонной смеси является применение энергосберегающих технологий при ее изготовлении. Установлено, что средние энергозатраты на асфальтобетонных заводах составляют примерно 0,40 ГДж/т. Такие значительные энергозатраты зависят от несовершенной теплоэнергетической системы технологического оборудования, которое допускает большие потери тепловой энергии при осуществлении технологического процесса. Кроме того, установлено, что повышение энергоэффективности технологического процесса может быть достигнуто за счет уменьшения начальной влажности составляющих ингредиентов асфальтобетонной смеси. Предложено применение тепловизионного метода для проведения энергоаудита и установления реальной картины текущей ситуации с энергопотреблением на предприятии, что позволяет выявить приоритетные направления для дальнейшей работы по энергосбережению.

Ключевые слова: энергозатраты, энергосбережение, энергетический аудит, тепловая энергия, тепловизионный метод обследования, асфальтобетонный завод, тепловой поток, температура поверхности, теплограма, теплоизоляция.

**THE METHODOLOGY OF THE ENERGY AUDIT OF ENTERPRISES
BY THE THERMAL IMAGING METHOD IN ROAD INDUSTRY**

Dmitriev N., Gamelyak I., Popelysh I., Kots I.

One of substantial constituents of reduction of prime price of making of bituminous concrete mixture is application of energy-saving technologies at her making. It is set that middle energy consumption on bituminous concrete plants are approximately 0.40 GJ/t. Such considerable energy consumption depend on the imperfect heating system of technological equipment that assumes the severe losses of thermal energy during realization of technological process. In addition, it is set that the increase of the energy efficiency technological process can be attained due to reduction of initial humidity of making ingredients of bituminous concrete mixture. Application of thermal imaging method is offered for realization of energy audit and establishment of the real picture of current situation with an energy

consumption on an enterprise, that allows to educe priority directions for further work on an energy-savings.

Key words: *energy consumption, energy efficiency, energy audit, thermal energy, thermal imaging method of examination, bituminous concrete plants, heat flow, temperature of the surface, thermal chart, insulation.*

Вступ

Енергоаудит є важливої складовою системи енергетичного менеджменту, відправною точкою розвитку програми підвищення енергетичної ефективності будь-якого підприємства промислового або непромислового сектору економіки. Він дозволяє проаналізувати ефективність використання енергетичних і інших ресурсів підприємства, їх вартість, виявити місця нерационального використання ресурсів, розробити програму енергозберігаючих заходів і проектів.

Основні цілі енергоаудиту:

- знайти можливості проведення реальних енергозберігаючих проектів, визначити кількісні значення споживання енергоресурсів на підприємстві. Це дає можливість розробити енергетичні баланси всіх енергоресурсів підприємства, виявити основних споживачів кожного енергоресурсу, визначити місця втрат і зосередити зусилля на детальному обстеженні основних споживачів і найбільш імовірних місць економії.
- розробити й об'єднати в одну систему планування енергозберігаючих проектів. Підготовка енергозберігаючого проекту має на увазі технічне пророблення, визначення можливих постачальників обладнання, оцінку вартості проекту, терміну його окупності.

Для того щоб ефективно управляти енергопотоками, енергоспоживання повинне бути обмірюване, і аудит саме й служить цій меті. Аудит повинен надавати інформацію в такій формі, яка давала б можливість виявити потенційні поліпшення, а також дозволила зрівняти дані зі стандартними значеннями або отриманими для аналогічних об'єктів.

Аналіз відповідних документів показує, що методологію енергоаудиту будь-якого підприємства можна розділити на кілька етапів:

Перший етап енергоаудиту є ознайомлювальним, тобто збір і аналіз усієї корисної, з погляду енергоспоживання інформації й складання плану наступних дій. Ця інформація необхідна для розуміння проблем з енерговикористанням, правильного розміщення пріоритетів для досягнення найкращих результатів енергоаудиту, а так само для знання й розуміння загальної вартості витрат підприємства на енергоресурси, структуру витрат по енергоносіях, сезонних змінах у їхньому споживанні й вартості, структуру цін на кожний енергоресурс. Ця інформація дає чітку картину поточної ситуації з енерговикористанням на підприємстві й можливість виявити пріоритетні напрямки для подальшої роботи.

Другий етап енергоаудиту – скласти повну достовірну картину, де і як витрачаються енергоресурси на підприємстві, скласти докладні баланси по всіх енергоресурсах, виявити основних споживачів і місця найбільш імовірної економії енергоресурсів. Результат другого етапу – пропозиції де і як можна заощадити енергоресурси й гроші на обстежуваному підприємстві.

Третій етап енергоаудиту пов'язаний з детальним обстеженням найбільш значимих споживачів енергоресурсів і критичним аналізом інформації, отриманої на попередньому етапі, зібраної при обстеженні й розробка пропозицій шляхи зниження витрат на енергоресурси. Існують три основні способи зниження енергоспоживання - виключити нерациональне використання, усунути втрати й підвищити ефективність перетворення.

Четвертий етап енергоаудиту - аналіз і пророблення ідей попереднього етапу до обгрунтованих енергозберігаючих проектів і об'єднання проектів у єдину систему в порядку їх пріоритетності й важливості.

П'ятий етап - експертиза розроблених проектів. Основне завдання цього етапу - відповісти на всі супутні пропонованим проектам питання: технічна доцільність і можливість реалізації, вартість, окупність, ризики тощо.

Шостий етап енергоаудиту - складання звіту по енергоаудиту й презентація результатів аудиту керівникам і зацікавленим фахівцям підприємства.

При проведенні енергоаудиту, як правило, необхідно виконувати вимірювання для підтвердження наявної інформації про параметри енергоустановок, для одержання відсутніх даних про їхні характеристики, для складання енергетичних балансів. Вимірювальне обладнання, що

використовується при виконанні енергоаудиту, повинне відповідати наступним загальним основним вимогам, що накладаються умовами й специфікою проведеної роботи:

- компактність, переносне виконання;
- універсальність, тобто можливість вирішення як можна більшої кількості завдань за допомогою одного приладу;
- надійність у роботі;
- зручність монтажу й простота при виконанні вимірів;
- захищеність від зовнішніх впливів, стійкість до ушкоджень
- автономне живлення протягом значного часу;
- мінімальні вимоги до обслуговування в процесі експлуатації.

Найбільш оптимальним варіантом для енергетичного аудиту бітумних баз і асфальтобетонних заводів є використання тепловізійного методу (визначення температурних полів технологічного устаткування тепловізором). Проведені дослідження вище названих об'єктів дозволили розробити приблизну методика відповідної черговості обстеження технологічного обладнання бітумних баз яка полягає в наступному:

Проводити обстеження бітумної бази слід у наступному порядку:

- устаткування для зливу бітуму з бітумовозів, автогудронаторів, залізничних цистерн;
- бітумосховища та системи бітумо-, - паливо, - теплопроводів, електропостачання, що підходять та виходять з бітумосховищу;
- устаткування для зневоднення та підігріву бітуму до робочої температури та системи бітумо, -паливо, -теплопроводів, електропостачання, що підходять та виходять з нього;
- видаткові ємності для збереження бітуму та системи бітумо, -паливо, -теплопроводів, електропостачання, що підходять та виходять з них;
- устаткування для загрузки бітуму у бітумовози, автогудронатори, залізничні цистерни, бітумопроводи до АЗУ;
- будівлі бітумних баз за розробленою методикою обстеження [3 - 5].

Рекомендації щодо послідовності проведення обстежень АБЗ.

Проводити обстеження АБЗ слід у наступному порядку:

- бітумне господарство у вище наведеному порядку;
- агрегат живлення;
- сушильний агрегат, та системи паливо, -теплопроводів, електропостачання, що підходять та виходять з нього,
- пиловіддільне устаткування для сушильного агрегату (1-ша ступінь очищення - пиловловник), та системи паливо, -електропостачання, що підходять та виходять з нього;
- система транзиту гарячих кам'яних матеріалів (гарячий елеватор) та системи паливо, - електропостачання, що підходять та виходять з нього;
- система пилеочищення (2-га ступінь –блок циклонів та 3-тя ступінь – мокрий пиловловник або рукавний фільтр) та системи паливо, повітря, -електропостачання, що підходять та виходять з нього;
- система сортування гарячих кам'яних матеріалів (грохот), система його пилеочищення(газохід від грохоту), та системи паливо, -електро постачання, що підходять та виходять з нього;
- агрегат мінерального порошку та системи паливо, повітря, -електропостачання, що підходять та виходять з нього;
- змішувальний агрегат та системи бітумо, -паливо, -теплопроводів, електропостачання, що підходять та виходять з нього;
- блок естакад, скіп та системи паливо- та електропостачання, що підходять і виходять з нього;
- бункер проміжного вивантаження та бункер готової суміші та системи паливо,
- електропостачання, що підходять та виходять з них;
- будівлі АБЗ.

Методика проведення тепловізійної зйомки об'єктів ЕА.

При проведення тепловізійної зйомки об'єктів ЕА отримують такі види теплограм:

Орієнтувальну теплограму слід застосовувати у випадку, коли необхідно зафіксувати температурні поля об'єкта ЕА та навколишньої обстановки чи місцевості, а також розподіл

температур окремих складових об'єкта ЕА по відношенню один до одного.

Оглядову теплограму слід застосовувати у випадку, коли необхідно зафіксувати стан об'єктів ЕА та/або їх окремих складових ізольовано від навколишньої обстановки або інших складових об'єкта ЕА.

Вузлову теплограму слід застосовувати у випадку, коли необхідно зафіксувати стан окремих складових об'єкта ЕА та їх частин щодо ефективності використання ПЕР (наприклад, місця витоків теплоти, місця пошкодження теплоізоляції тощо).

Детальну теплограму слід застосовувати у випадку, коли необхідно зафіксувати предмети та об'єкти, що мають вплив на ефективність використання ПЕР, на об'єкті ЕА та/або його окремих складових. Точки або лінії розподілу температур для окремої теплограми слід вибирати у наступних характерних місцях:

- примикання топкових агрегатів до установок;
- примикання димових труб, патрубків бітумо-, паливо-, тепло-, повітро- постачання до установок;
- у місцях зварки частин агрегатів;
- ємності знімати з обов'язковим виділенням мінімум 2-х точок: точка біля пальника та точка біля димоходу;
- бітумо-, тепло-, паливо- проводи знімати з обов'язковим виділенням точок є місцях примикання до насосних установок, у місцях з'єднань з трубою арматурою;
- є місцях візуально помітних дефектів;
- електрообладнання знімати оглядовим знімком.

У разі виявлення на теплограмі зони з аномальною температурою – назначати нову точку у місці виявлення аномальної температури та робити детальну теплограму.

Методика аналізу тепловізійної зйомки об'єктів ЕА.

Аналіз отриманих температурних полів обладнання та трубопроводів:

а) перевірка на нормативну температуру поверхні, що має бути меншою

на металевому покривному шарі 55 ° С;

для інших видів покривного шару 60 ° С;

б) перевірка на відповідність щільності теплового потоку через поверхню нормованій.

Температура поверхні має бути нижчою за

$$t = t_1 - q / \lambda, \tag{1}$$

де, q – нормативна щільність теплового потоку через поверхню, відповідно до таблиць 1 та 2 додатку 4 СНиП 2.04.14-88. «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»;

t_1 – температура матеріалу всередині установки або трубопроводу (визначається за температурним регламентом процесу, з документації на установку, з термодатчиків всередині (якщо передбачені));

$\delta_{ст}$ – товщина стінки поверхні(з паспорту);

λ – коефіцієнт теплопровідності стінки

$$\lambda = 1 / (1/a_1 + \delta_{cm}/\lambda_{cm} + \delta_{iz}/\lambda_{iz} + 1/a^2), \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год}^\circ\text{С}, \tag{2}$$

a_1, a_2 – коефіцієнти тепловіддачі відповідно від матеріалу до стінки та від зовнішньої стінки до навколишнього середовища, приймаються за додатком 9 СНиП 2.04.14-88. «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»;

δ_{cm}, δ_{iz} – відповідно товщина стінки та ізоляції, паспортні дані, м;

$\lambda_{cm}, \lambda_{iz}$ – відповідно коефіцієнти теплопровідності матеріалу стінки та ізоляції, ккал/м²·год°С (довідникові дані).

У разі, якщо температура поверхні або щільність теплового потоку перевищує нормативні значення – слід розраховувати теплоізоляцію. Економічна ефективність розраховується за ДСТУ 2155-93 «Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню».

Для прикладу наведено результати тепловізійного обстеження АБЗ, що належить ШРБУ – 100 у с. Димер Київської області. Обстеження виконано в літній період роботи АБЗ. Результати тепловізійного обстеження у вигляді термограм та ліній профілю температури наведені нижче.

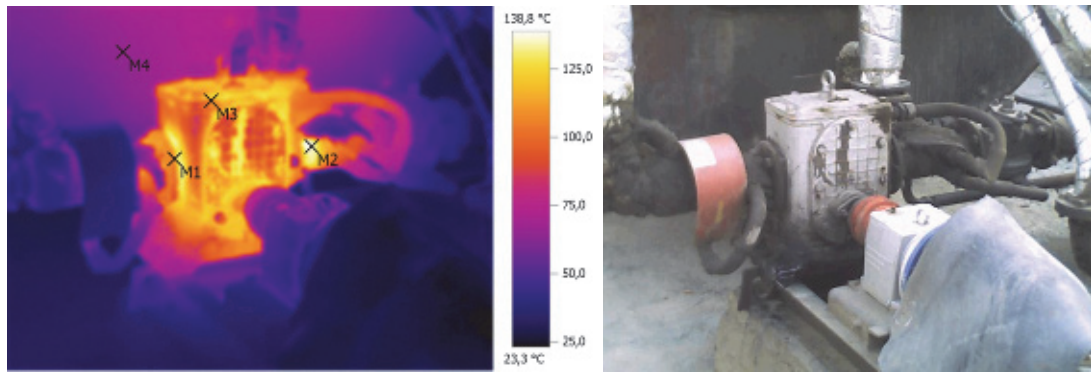


Рисунок 1 – Термограма та фото бітумопроводу

| Вимірювані об'єкти | Темп.[°C] | Випром. | Відбита темп.[°C] | Примітки |
|--------------------|-----------|---------|-------------------|----------|
| Точка виміру 1 | 111,7 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 2 | 136,6 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 3 | 108,2 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 4 | 65,3 | 0,93 | 20,0 | - |

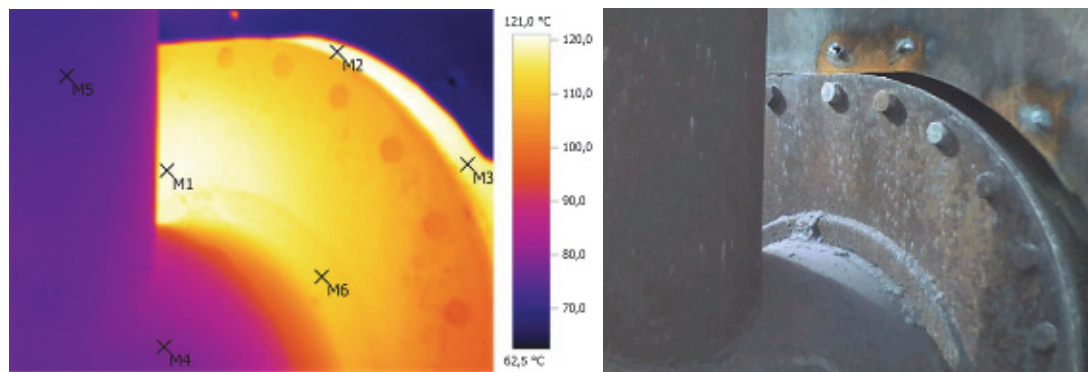


Рисунок 2 – Термограма та фото бітумної цистерни (Виходу димової труби із бітумної ємності)

| Вимірювані об'єкти | Темп.[°C] | Випром. | Відбита темп.[°C] | Примітки |
|--------------------|-----------|---------|-------------------|----------|
| Точка виміру 1 | 119,6 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 2 | 120,0 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 3 | 117,6 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 4 | 79,3 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 5 | 73,6 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 6 | 112,4 | 0,93 | 20,0 | - |

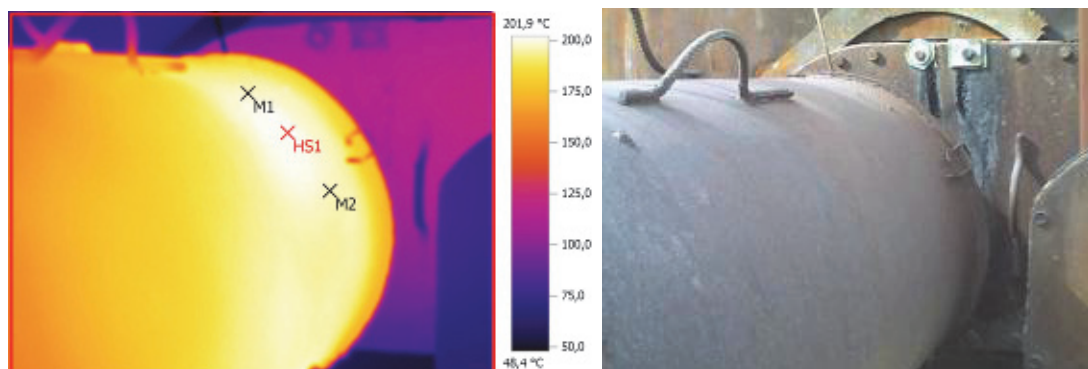


Рисунок 3 – Термограма та фото топкового агрегату

| Вимірювані об'єкти | Темп.[°C] | Випром. | Відбита темп.[°C] | Примітки |
|--------------------|-----------|---------|-------------------|----------|
| Точка виміру 1 | 197,9 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 2 | 196,9 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 3 | 201,9 | 0,93 | 20,0 | - |

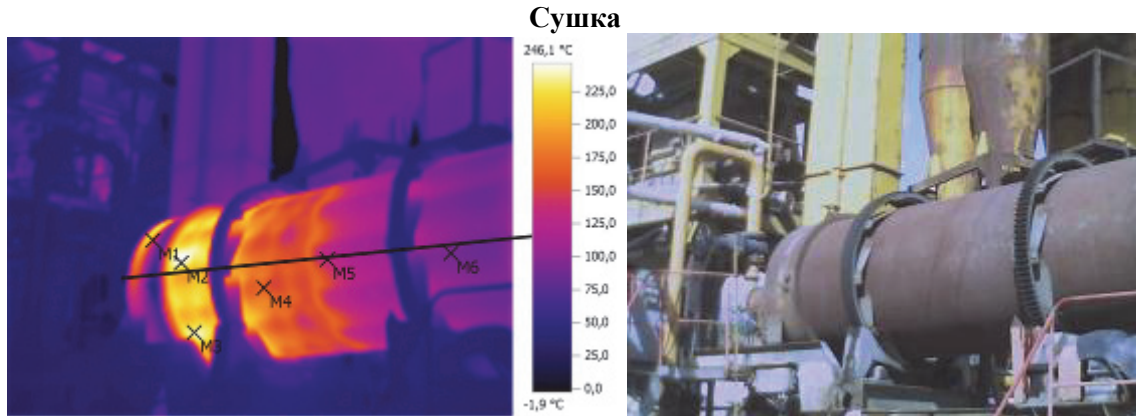


Рис 4. Термограма та фото сушильного барабану

| Вимірювані об'єкти | Темп.[°C] | Випром. | Відбита темп.[°C] | Примітки |
|--------------------|-----------|---------|-------------------|----------|
| Точка виміру 1 | 166,2 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 2 | 243,2 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 3 | 236,9 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 4 | 168,9 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 5 | 133,3 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 6 | 91,2 | 0,93 | 20,0 | - |

Лінія профілю: мінімум 30,1°C ; максимум 214,7 °C; середнє значення 124,8°C

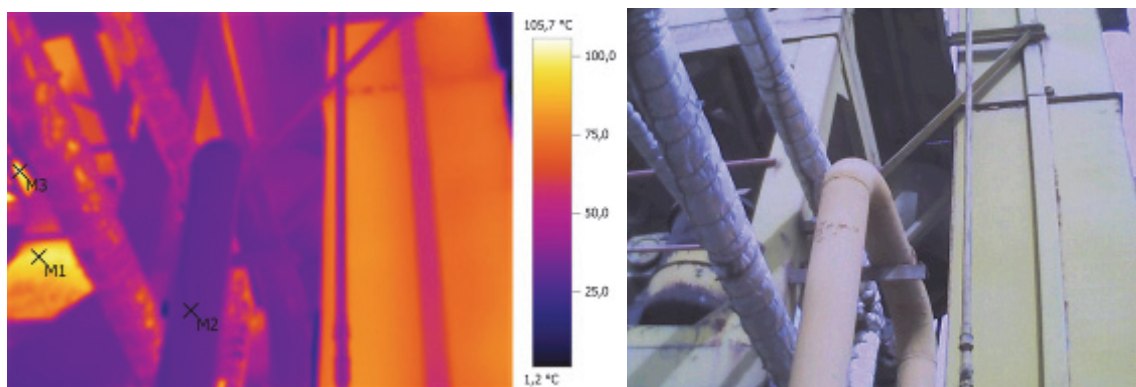
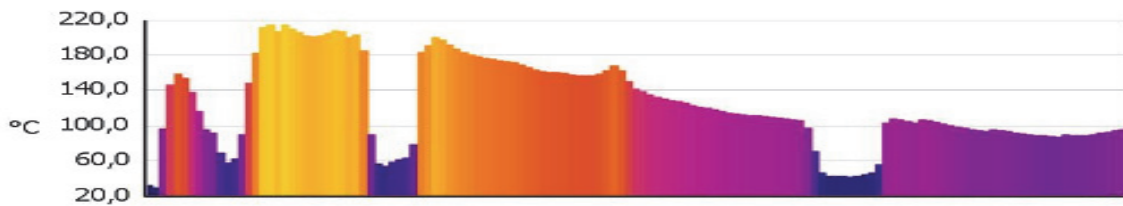


Рисунок 5 – Термограма та фото бітумопроводу, що заходить до бітумної установки змішувального агрегату

| Вимірювані об'єкти | Темп.[°C] | Випром. | Відбита темп.[°C] | Примітки |
|--------------------|-----------|---------|-------------------|----------|
| Точка виміру 1 | 97,6 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 2 | 30,3 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 3 | 105,4 | 0,93 | 20,0 | - |

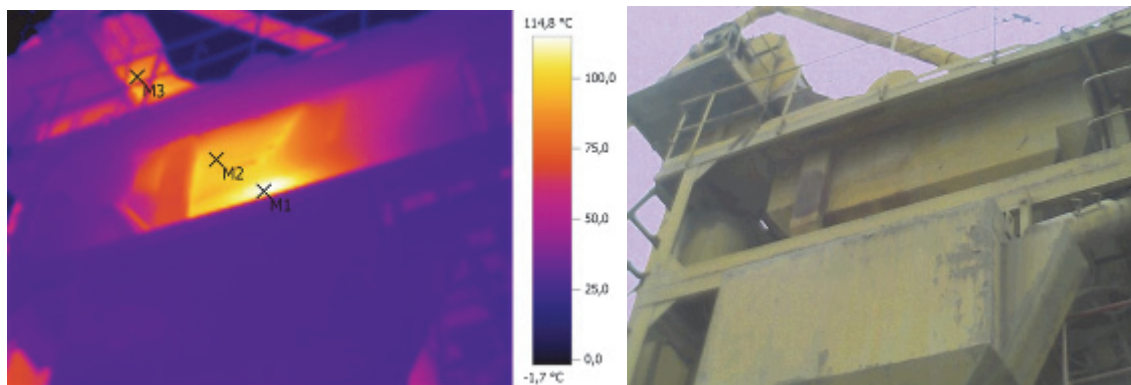


Рисунок 6 – Термограма та фото бункеру гарячих кам'яних матеріалів змішувального агрегату та робочого органу елеватору

| Вимірювані об'єкти | Темп.[°C] | Випром. | Відбита темп.[°C] | Примітки |
|--------------------|-----------|---------|-------------------|----------|
| Точка виміру 1 | 114,2 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 2 | 95,3 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 3 | 92,7 | 0,93 | 20,0 | - |

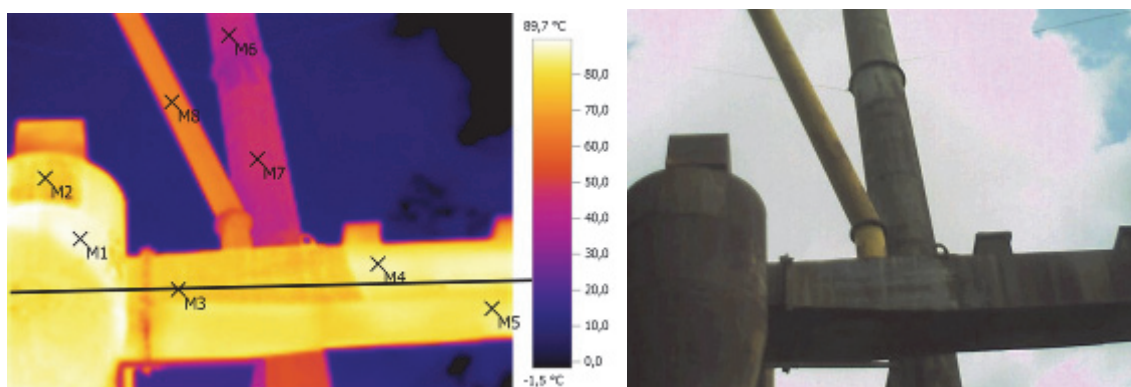


Рисунок 7 – Термограма та фото циклону, газоходів загального та від агрегату МП, димоходу мокрого пилоловлювача

| Вимірювані об'єкти | Темп.[°C] | Випром. | Відбита темп.[°C] | Примітки |
|--------------------|-----------|---------|-------------------|----------|
| Точка виміру 1 | 88,6 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 2 | 78,3 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 3 | 76,7 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 4 | 85,6 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 5 | 82,9 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 6 | 42,7 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 7 | 47,3 | 0,93 | 20,0 | - |
| Точка виміру 8 | 64,7 | 0,93 | 20,0 | - |

Висновки

- В повному обсязі реалізація енергетичного потенціалу виробництва асфальтобетонної суміші досягається при максимально інтенсивному енергозбереженні.
- При сьогоdnішньому положенні з енергозабезпеченням енерговитрати на асфальтобетонних заводах становлять величину $\approx 0,40$ ГДж/т. Аналіз їх теплоенергетичної системи показав, що існує енергозабезпечення неефективне. При використанні мінеральних заповнювачів з рівноважною вологістю й бітуму, вільного від вологи, енерговитрати можуть бути знижено до значення $0,36$ ГДж/т, що в $1,5$ рази перевищує теоретично необхідне значення, ($\approx 0,24$ ГДж/т) для одержання асфальтобетонної суміші з мінеральних матеріалів квазірівноважної вологості в 4% і бітумного в'язучого, вільного від включень води.
- Специфіка цілого ряду асфальтобетонних підприємств та інших підприємств дорожньої галузі вимагає більш інтенсивного енергозбереження, а отже й розробки особливої методології.

Використана література

1. ISO/TR 10017:2003 Guidance on statistical techniques for ISO 9001:2000
2. (Настанови щодо використання статистичних процедур в стандарті ISO 9001:2000). – Режим доступу: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=36674
3. ISO/TR 13425:2003 Guidelines for the selection of statistical method
4. sinstandardization and specification (Рекомендації щодо вибору статистичних методів в стандартизації та технічних вимогах (специфікації)). – Режим доступу: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=38715
5. Методика проведення енергетичного аудиту закладів освіти. Загальні положення. Порядок проведення / НТУУ “КПІ” Інститут енергозбереження та енергоменеджменту. – К., 2009. – 75 с.
6. ДСТУ Б В.2.2-21-2008 «Метод визначення питомих тепловитрат на опалення будинків». К., 2008. – 84 с.
7. М 02070915-737:2014 «Методика з проведення енергетичного аудиту бітумних баз та асфальтобетонних заводів з використанням тепловізійного обладнання». – К., 2014. – 75 с.

Дмитрієв Микола Миколайович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Національного транспортного університету.

Гамеляк Ігор Павлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри аеропортів Національного транспортного університету.

Попелиш Іван Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри аеропортів Національного транспортного університету.

Коц Іван Васильович – кандидат технічних наук, професор кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Дмитриев Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Национального транспортного университета.

Гамеляк Игорь Павлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры аэропортов Национального транспортного университета.

Попельш Иван Иванович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры аэропортов Национального транспортного университета.

Коц Иван Васильевич – кандидат технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения Винницкого национального технического университета.

Nikolai Dmitriev – Doctor of Engineering, professor, vice-rector of the National Transport University.

Hamelyak Igor – PhD, Professor, Department of Airports National Transport University.

Ivan Popelysh – Ph.D., associate professor, assistant professor of airports National Transport University.

Kotz Ivan – Ph.D., Professor of Heat Vinnytsia National Technical University.