

СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ТА ЗАХИСТУ ВІД ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ КАБЕЛЬНИХ І ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ 6-35 КВ

М. В. ГРЕБЧЕНКО, доктор технічних наук, професор
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*

E-mail: grebchenko@nubip.edu.ua

О. В. КОЖУХАР, керівник департаменту з оперативного керування
ПАТ «ДТЕК Дніпрообленерго»

E-mail: KozhukharAV@dtek.com

Анотація. *Розвиток розподіленої генерації, у тому числі вітроенергетики, вимагає підвищення надійності роботи кабельних ліній напругою до 35 кВ, які використовуються для концентрації електричної енергії від окремих генераторів. У місцях впровадження вітростанцій продовжується експлуатація сільських повітряних ліній того самого класу напруги. Своєчасне визначення виникнення дефектів ізоляції ліній електропередачі дасть змогу усунути причини виникнення коротких замикань та аварійних відключень.*

Мета дослідження – розробка мікропроцесорного приладу діагностики стану ізоляції та захисту від замикань на землю ліній електропередачі. Принцип роботи приладу засновується на контролюванні значень струмів нульової послідовності за допомогою кабельних трансформаторів струму нульової послідовності. Для забезпечення високої чутливості до малих значень струмів, які виникають у разі появи дефектів ізоляції, запропоновано у трансформаторах струму використовувати додаткову магніторушійну силу з частотою, яка відрізняється від промислової. Завдяки цьому, робоча точка переходить на ділянку характеристики з більшим кутом.

Запропоновано схему приладу, основу якого становить промисловий мікропроцесорний захист. Прилад пройшов лабораторні та промислові випробування й рекомендований до впровадження.

Ключові слова: *лінія електропередачі, дефекти ізоляції, діагностування*

Актуальність. Одним із перспективних напрямів розвитку генерації електричної енергії, завдяки своїм перевагам, є вітроенергетика. Але на цьому шляху є низка задач, які необхідно розв'язати. Концентрація електричної енергії від окремих генераторів виконується за рахунок кабельних ліній напругою 35 кВ. Сучасні кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену мають значний позитивний досвід експлуатації, але через використання кабельних муфт та впливу перенапруг на цих лініях можливі однофазні замикання на землю. У багатьох випадках замикання можна

запобігти за рахунок своєчасного визначення погіршення стану ізоляції на підставі неперервного діагностування. Відомі методи контролю ізоляції, що засновані на вимірюванні напруги нульової послідовності, не виявляють на ранній стадії дефекти ізоляції та не забезпечують селективність дії [1].

Сільські електричні мережі відрізняються від мереж промислових районів більшою довжиною ліній та меншим електричним навантаженням. У багатьох випадках напруга цих ліній не перевищує 110 кВ, а самі лінії виконуються повітряними. До 30% від загальної кількості пошкоджень сільських ліній пов'язані з погіршенням стану ізоляції. На сьогодні методи контролю стану ізоляції цих ліній у робочому режимі не є досконалыми й не доведені до широкого використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для визначення замикань на землю найдосконалішими є методи контролю струмів нульової послідовності на кожному приєднанні [1]. Підвищенню чутливості таких захистів сприяє використання сучасних кабельних трансформаторів струму нульової послідовності (ТСНП) у яких осердя виконано з нанокристалічного стопу, наприклад, типу ТЗЛУ-70 [2].

Основу розподіленої генерації сільських районів найближчим часом можуть становити вітрогенератори потужністю 3 МВт та більше. Нині потужність одного вітрогенератора, що найбільш використовується в Україні, становить 3 МВт. Передачу енергії від генераторів потрібно виконувати за допомогою кабельних ліній, що необхідно для забезпечення раціонального використання сільськогосподарських земель. Розвиток вітростанцій приводить до збільшення сумарної довжини кабельних ліній, а тому й до потреби у створенні системи своєчасного визначення можливих дефектів ізоляції на початковій стадії їх розвитку.

Більш висока технічна досконалість мікропроцесорних захистів та використання в них значень параметрів режиму у цифровому вигляді, як і використання сучасних ТСНП, сприяють підвищенню чутливості захистів від замикання на землю. Але досягнутий на сьогодні рівень чутливості не дає змоги виконувати неперервну оцінку стану ізоляції ліній електропередач.

Мета дослідження – розробка на основі мікропроцесорних захистів приладу діагностики стану ізоляції та захисту від замикань на землю ліній електропередачі.

Матеріали і методи дослідження. У разі симетричного навантаження лінії електропередачі та симетричній системі векторів фаз напруги живлення, струм нульової послідовності лінії $3\dot{I}_0$ з дефектом ізоляції дорівнює сумі векторів струмів, що проходять крізь ізоляцію фаз [3]:

$$3\dot{I}_0 = \dot{I}_{Ai} + \dot{I}_{Bi} + \dot{I}_{Ci} \quad (1)$$

Якщо у разі виникнення дефекту ізоляції з активним опором R_D в (1) не враховувати активну провідність ізоляції фаз, а ємнісні провідності фаз прийняти такими, що дорівнюють одна одній $\omega C_A = \omega C_B = \omega C_C = \omega C$, то струм приєднання з дефектом R_D [4]:

$$3\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_A}{R_D} + j3\omega C\dot{U}_0 \quad (2)$$

де $\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 3\dot{U}_0$ з урахуванням вищеприйнятих припущень про симетричність напруги живлення та навантаження лінії, тобто сума векторів напруг фаз відносно землі дорівнює напрузі нульової послідовності.

Аналіз свідчить, що у формулі (2) припустимо прийняти $U_A = U_\phi$, якщо $R_D \geq 20$ кОм та сумарна ємність фази всієї мережі $C_\Sigma \geq 1$ мкФ. Якщо значення R_D и C_Σ менше, ніж зазначено, похибка розрахунку за формулою (2) стає помітною і, залежно від конкретних параметрів, може перевищувати 5%.

З (2) амплітуда вектора струму нульової послідовності лінії з дефектом ізоляції:

$$3I_0 = \sqrt{\left(\frac{U_\phi}{R_D}\right)^2 + \omega C 3U_0^2} \quad (3)$$

З урахуванням прийнятих обмежень сумарної ємності та опору дефекту, а також подібно до того, як відповідно до методу двох вузлів в [5] отримано напругу нульової послідовності [4]:

$$\dot{U}_0 = -U_\phi \frac{I}{1 + j3\omega C_\Sigma R_D} \quad (4)$$

де C_Σ – сумарна ємність фази всієї електрично зв'язаної мережі.

Якщо підставити (4) в (3), отримаємо

$$3I_0 = \frac{U_\phi}{R_D} \sqrt{1 + \left(\frac{C}{C_\Sigma}\right)^2} \quad (5)$$

Формула (5) дає можливість визначити залежність значення струму нульової послідовності від значення опору дефекту ізоляції R_D . На рис. 1 наведено результати визначення струму нульової послідовності у разі виникнення дефекту ізоляції на лінії напругою 35 кВ (крива 1), якщо її довжина у 10 разів менша від загальної довжини ліній мережі, крива 2 – теж для лінії 10 кВ. Це характерні залежності, оскільки зміна співвідношення ємностей у реальних межах в (4) незначно впливає на струм нульової послідовності.

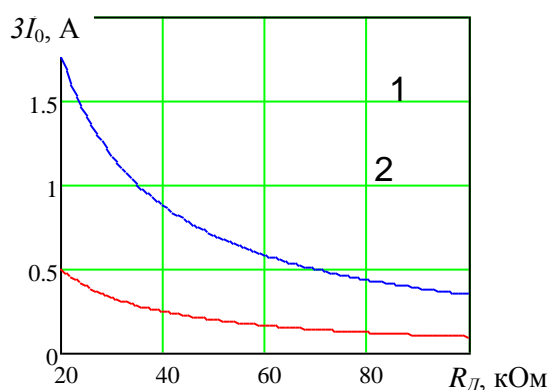


Рис. 1. Залежність значення струму нульової послідовності від значення опору дефекту ізоляції R_D

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз результатів (рис.1) свідчить, що дефекти ізоляції з великим опором супроводжуються виникненням відносно невеликих струмів нульової послідовності.

Для захисту лінії (кабельної або повітряної) використовується мікропроцесорний комплект АК (рис. 2), наприклад, із серії МРЗС, до складу якого входить ступеневий струмовий захист від міжфазних коротких замикань і максимальний струмовий захист (МСЗ) нульової послідовності від замикань на землю (на повітряній лінії встановлюється кабельна вставка).

Для забезпечення необхідної чутливості до малих струмів, що виникають у разі дефектів ізоляції, запропоновано в осерді кабельного трансформатора струму нульової послідовності створювати додаткову магніторушійну силу (м.р.с.), частота якої відрізняється від промислової частоти [6].

Для цього використовується генератор струму G (рис. 2), вихід якого підключається до додаткової обмотки ТСНП. За відсутності такої обмотки, наприклад, у разі використання ТСНП типу ТЗР, ТЗЛ, ТЗЛМ додаткова обмотка намотується на ТСНП. Додаткова м.р.с. переміщує робочу точку ТСНП на більш круту ділянку характеристики намагнічування. Це приводить до збільшення вторинного струму по відношенню до зростання вторинного струму у разі відсутності додаткової м.р.с. [7]. У зв'язку з тим, що додаткова м.р.с. також індукує електрорушійну силу у вторинну обмотку, це враховується у визначенні необхідної уставки. Алгоритм роботи системи наведено на рис. 3.

Система ВЗД на основі мікропроцесорного комплексу АК (рис. 2) постійно знаходиться в режимі діагностування, тобто за рахунок того, що частота додаткової м.р.с. менша за промислову, м.р.с. обертається по відношенню до векторів м.р.с., які створені струмами крізь ізоляцію фаз.

У разі виникнення дефекту ізоляції, що призводить до перевищення струмом допустимого значення $I_{\text{ДОП1}}$, спрацьовує максимальний струмовий захист (МСЗ) й подається сигнал «Дефект ізоляції», а також контактом $KL1.2$ вмикається додатковий струм $I_{\text{ДОД}}$ (рис. 2, рис. 3). Якщо виникло замикання на землю, то після відключення $I_{\text{ДОД}}$ захист МСЗ залишається у спрацьованому стані, а тому спрацьовує $KL2$.

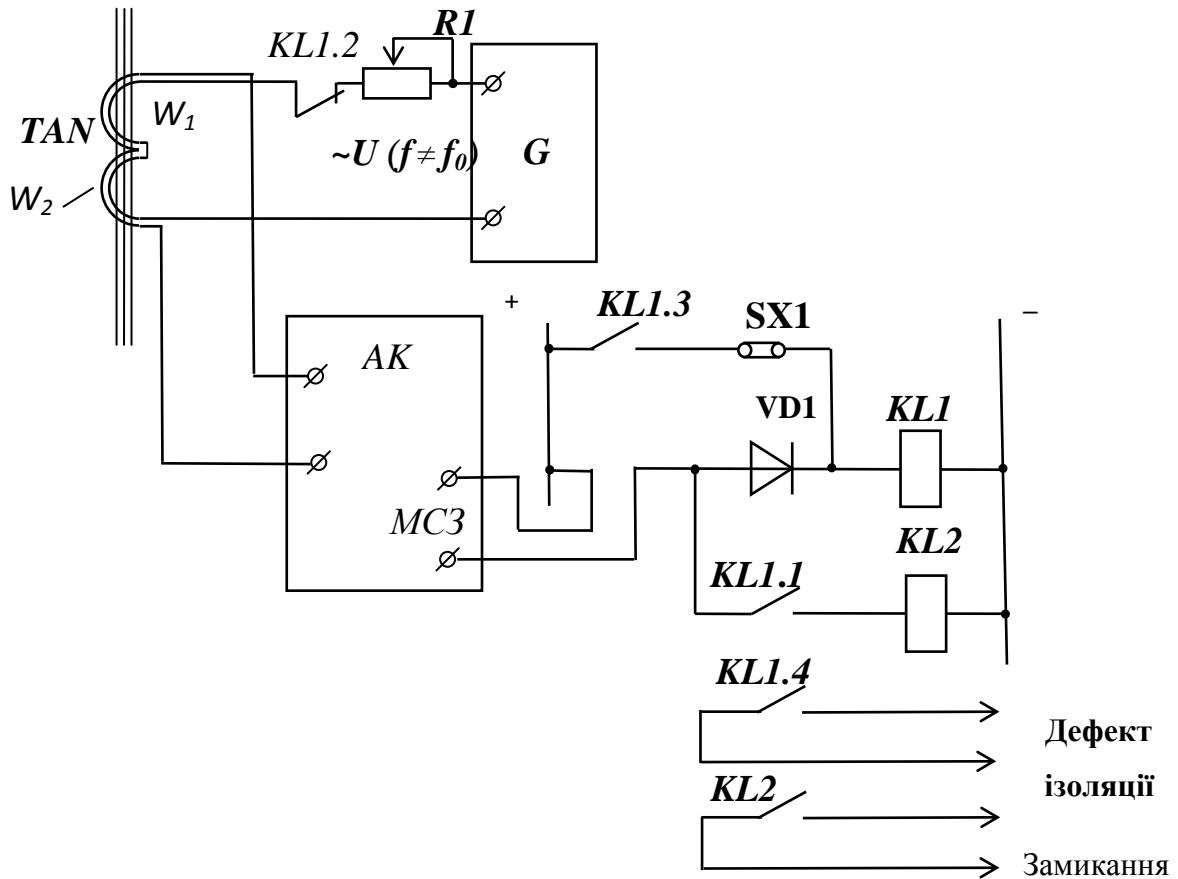


Рис. 2. Схема мікропроцесорної системи визначення замикань на землю та діагностування ліній електропередач (ВЗД)

Система з використанням статичного реле струму РТЗ-51 пройшла лабораторні та промислові випробування, які підтвердили її ефективну роботу [7].

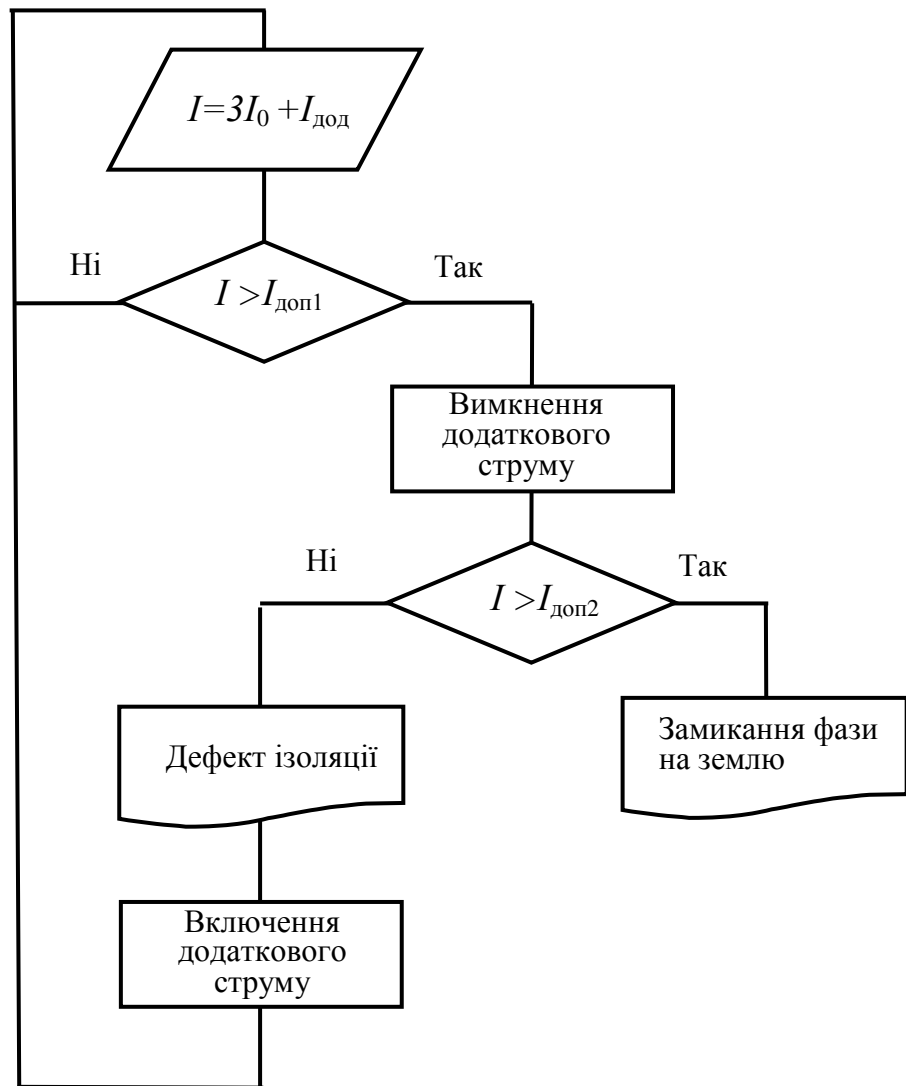


Рис. 3. Алгоритм роботи системи від замикань та діагностування ВЗД

Висновки і перспективи. Запропоновано мікропроцесорну систему визначення замикань фази на землю й дефектів ізоляції у робочих режимах кабельних та повітряних (з кабельною вставкою для трансформатора нульової послідовності) ліній електропередач, принцип дії якої заснований на контролі струмів нульової послідовності.

У запропонованій системі підвищення чутливості по відношенню до відомих захистів забезпечується завдяки використанню у кабельному трансформаторі струму нульової послідовності додаткової магніторушійної сили, частота якої відрізняється від промислової частоти.

Список літератури

1. Чернобровов Н. В. Релейная защита / Н. В. Чернобровов. – М. : Энергия, 1974. – 624 с.
2. БИОНТОП [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://beontop.com.ua/produksiya/item/49-transformator-toka-tzlu-70.html>

3. Гребченко М. В. Теоретичні основи побудови захисно-діагностуючої автоматики вузлів електричних систем з двигунами. Частина 2. Функції оперативного діагностування ізоляції електрообладнання / М. В. Гребченко // Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика. – Донецьк : ДонНТУ, 2002. – Вип. 50. – С. 53–61.

4. Гребченко Н. В. Определение места возникновения локальных дефектов изоляции в рабочих режимах узла сети с изолированной нейтралью / А. А. Сидоренко // Технічна електродинаміка. Тем. випуск. – 2006. – С. 17–19.

5. Электрическая часть станций и подстанций / [А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова, М. Н. Околович] ; под ред. А. А. Васильева. – М. : Энергия, 1980. – 608 с.

6. Пристрій автоматичного контролю ізоляції електричної мережі змінного струму. Патент України Україна. МПК G01N 27/00, G01R31/00. / Гребченко М. В. – № 34689 ; заявл. 16.02.1999 ; опубл. 17.02.2003, Бюл. № 2.

7. Гребченко Н. В. Чувствительная диагностирующая защита от замыканий на землю / Н. В. Гребченко, В. А. Деметьев, В. П. Ерофеев, К. Н. Вознюк // Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика. Донецьк : ДонНТУ. – 2004. – Вип. 79. – С. 55–62.

References

1. Chernobrovov, N. V. (1974). Releynaya zashchita [Relay protection]. Moscow: Energiya, 624.

2. BIONTOP. Available at: <http://beontop.com.ua/produksiya/item/49-transformator-toka-tzlu-70.html>.

3. Grebchenko, N. V. (2002). Teoretychni osnovy pobudovy zahysno-diaagnostychnoi avtomatyky vuzliv elektrychnykh system z dvygunamy. Chastyna 2. Funktsii operatyvnogo diaagnostuvannia izoliatsii elektroobladnannia. [Theoretical basis for the construction of protective and diagnostic automation of nodes of electric systems with engines. Part 2. Functions of operational diagnostics of isolation of electrical equipment]. Zbirnyk naukovykh prats' Donets'kogo natsional'nogo tehnicnogo universitetu. // Elektrotehnika i energetyka. Donetsk: DonNTU, 50, 53–61.

4. Grebchenko, N. V., Sidorenko, A. A. (2006). Opredeleniie mesta vznikhoveniia lokal'nykh defektov izoliatsii v rabochikh rezhimakh uzla seti s izolirovannoy neytral'yu [Determination of the location of local insulation faults in operating conditions of a network node with an isolated neutral] Technichna elektrodinamika. Tem. Vipusk. Kyiv, 17–19.

5. Vasil'ev, A. A., Kryuchkov, I. P., Nayashkova, E. F., Okolovich, M. N. (1980). [Electrical part of stations and substations]. Moscow, Russia: Energiya, 608.

6. Grebchenko, N. V. (2003). Device for automatic control of insulation of the electric network of alternating current. G01N 27/00, G01R31/00. № 34689 UA; declared 16.02.1999; published 17.02.2003, № 2.

7. Grebchenko, N. V., Dement'ev, V. A., Erofeev, V. P., Voznyuk, K. N. (2004). Chuvstvitel'naya diagnostiruyushchaya zashchita ot zamykaniy na zemlyu [Sensitive ground fault protection]. Zbirnyk naukovykh prats' Donets'kogo natsional'nogo tehnicnogo universitetu. Elektrotehnika i energetyka. Donetsk: DonNTU, 79, 55–62.

СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ КАБЕЛЬНЫХ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 6-35 КВ

**Н. В. Гребченко,
А. В. Кожухарь**

Аннотация. Развитие распределенной генерации, в том числе ветроэнергетики, требует повышения надежности работы кабельных линий напряжением до 35 кВ, которые используются для концентрации электрической энергии от отдельных генераторов. В местах строительства ветростанций продолжается эксплуатация сельских воздушных линий того же класса напряжения. Своевременное выявление возникновения дефектов изоляции линий электропередачи позволит устранить причины возникновения коротких замыканий и аварийных отключений.

Цель исследования – разработка микропроцессорного устройства диагностики состояния изоляции и защиты от однофазных замыканий на землю линий электропередачи. Принцип работы устройства основывается на контроле значений токов нулевой последовательности с помощью кабельных трансформаторов тока нулевой последовательности. Для обеспечения высокой чувствительности к малым значениям токов, возникающим при появлении дефектов изоляции, предложено в трансформаторах тока использовать дополнительную магнитодвижущую силу с частотой, которая отличается от промышленной. Благодаря этому, рабочая точка переходит на более крутой участок характеристики.

Предложена схема устройства, основой которого является промышленная микропроцессорная защита. Устройство прошло лабораторные и промышленные испытания и рекомендовано к внедрению.

Ключевые слова: линия электропередачи, дефекты изоляции, диагностика

SYSTEM FOR DIAGNOSTICS AND PROTECTION AGAINST EARTH FAULTS OF CABLE AND OVERHEAD LINES 6-35 KV

**N. Grebchenko,
A. Kozhukhar**

Abstract. The development of distributed generation, including wind power, requires an increase in the reliability of the operation of cable lines with a voltage of up to 35 kV, which are used to concentrate electrical energy from individual generators. In the construction of wind farms continues to operate rural air lines of the same voltage class. Timely detection of the occurrence of defects in the insulation of power lines will eliminate the causes of short circuits and emergency shutdowns.

The aim of the work is the development of a microprocessor device for diagnosing the state of insulation and protection against single-phase earth faults of transmission lines. The principle of operation of the device is based on monitoring the values of the zero sequence currents with the help of cable zero-sequence current transformers. To provide high sensitivity to low values of currents that arise when insulation defects appear, it is proposed to use additional magnetomotive force in current transformers with a frequency that differs from the industrial one. Due to this, the operating point passes to the steeper section of the characteristic.

The scheme of the device based on industrial microprocessor protection is proposed. The device passed laboratory and industrial tests and is recommended for implementation.

Keywords: power line, insulation defects, diagnostics

УДК 536.24

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ОРЕБРЕННЯ В УМОВАХ ПРИРОДНОЇ КОНВЕКЦІЇ

В. Г. ГОРОБЕЦЬ, доктор технічних наук, доцент
**Національний університет біоресурсів
і природокористування України**
E-mail: gorobetsv@ukr.net

Анотація. Метою дослідження було проведення порівняльного аналізу тепловіддачі вертикальних поверхонь з оребренням різного типу за умов вільної конвекції.

Проведено порівняльний аналіз теплообміну неперервного вертикального, дискретного вертикального і похилого оребрення за умов вільної конвекції. Показано, що використання дискретного оребрення суттєво інтенсифікує процеси теплообміну на вертикальних поверхнях.

Порівняння дискретного вертикального і похилого оребрення свідчить про перевагу першого типу оребрення для поверхонь з малими вертикальними розмірами і погіршення умов тепловіддачі порівняно з другим типом оребрення для поверхонь великої протяжності.

Ключові слова: вертикальна поверхня з оребренням, вільна конвекція, теплообмін, тепловий потік, ефективність ребра

Актуальність. Вертикальні поверхні з різними типами оребрення в умовах природної конвекції набули широкого застосування в різних областях при розробці теплообмінного обладнання. Такі поверхні використовують для охолодження електронного та комп'ютерного обладнання, в опалювальних приладах, в теплообмінниках для охолодження трансформаторів тощо. При цьому важливими факторами є розміри та маса таких пристроїв, яка значною