

ОСОБЛИВОСТІ СПАЛЮВАННЯ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ ІЗ ЗМІННИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

*В.А. Колієнко, асистент
О.В. Шеліманова, кандидат технічних наук
e-mail: shelemanova@ukr.net*

Розглянуто питання взаємозамінності штучних газів та природного газу. Досліджено основні горючі характеристики суміші генераторного газу повітряної газифікації та природного газу. Визначено оптимальну частку природного газу у горючій суміші.

Ключові слова: *взаємозамінність, штучні газу, спалювання суміші газів, генераторний газ*

Недостатній обсяг видобування природного газу та інших викопних видів палива, а також значна частка природного газу у процесі вироблення теплової енергії в Україні (до 40 %) призводять до необхідності вирішення проблеми диверсифікації природного газу і більш широкого використання джерел "чистої" енергії, у тому числі енергії біомаси у вигляді генераторного, біогазу або інших видів штучних газів.

Мотиваційні причини такого процесу можуть бути різними— економічними, що спричинені прагматичною доцільністю; екологічними, які визначають принципи сталого розвитку суспільства та основи виживання людини; стратегічними, в основі яких лежить принцип енергетичної незалежності як елемента державної незалежності країни.

Пряме спалювання твердої біомаси або біопалива у ряді випадків дає позитивний економічний ефект, але необхідність високовартісної реконструкції котельні, потреба у забезпеченні дублюючого виду палива та екологічні проблеми спалювання твердого палива нерідко призводять до необхідності вироблення і спалювання генераторного або біогазу. Не менш актуальною є проблема спалювання інших штучних газів – коксового, доменного, нафтозаводського та інших альтернативних видів палива у суміші з природним газом з використанням одних і тих же газопальникових пристроїв.

Мета досліджень – вивчення основних характеристик суміші генераторного газу повітряної газифікації та природного газу і визначення оптимальної частки останнього у такій суміші.

Матеріали та методика досліджень. Характеристики процесу горіння і конструкції газопальникових пристроїв для таких газів залежать від їх складу і фізико-хімічних характеристик. Але основною особливістю штучних газів, у тому числі генераторних або нафто заводських, є зміна їх складу і характеристик у часі. Це спричиняє постійну зміну таких важливих характеристик роботи газопальникових пристроїв, як:

- нормальна швидкість розповсюдження полум'я ;
 - об'єм продуктів згорання і потреба у дуттьовому повітрі для повного згорання газу;
 - стабільність горіння, явища проскоку і відриву полум'я;
 - температура продуктів згорання, світимість факела і тепловіддача факела та продуктів згорання;
 - ентальпія продуктів згорання, теплова потужність пальника і теплопродуктивність газоспалювального теплового агрегату;
 - тиск дуттьового повітря і горючого газу перед пальником.
- У табл. 1 наведено усереднені характеристики природного і генераторного газу повітряної газифікації.

1. Порівняльна таблиця основних фізико-хімічних властивостей природного та генераторного газів

| № з/п | Параметр | Одиниц і вимірювання | Вид газу | |
|-------|--|-----------------------------------|-----------|--------------|
| | | | Природний | Генераторний |
| 1 | Нижча теплота згорання Q_H^p | кДж/нм ³ | 35895 | 5426 |
| | | ккал/нм ³ | 8573 | 1295,9 |
| 2 | Теоретичні витрати повітря V_T | нм ³ / нм ³ | 9,5 | 1 |
| 3 | Об'єм продуктів згорання $V_{пз}$ при $\alpha=1$ | нм ³ / нм ³ | 10,5 | 1,9 |
| 4 | Максимальна швидкість розповсюдження полум'я u_H^{\max} | м/с | 0,37 | 1,03 |
| 5 | Максимальна швидкість розповсюдження полум'я з врахуванням баласту $u_H^{\max}_{\text{бал}}$ | м/с | 0,3677 | 1,297 |
| 6 | Межі спалахування: нижня L_H ; верхня L_B ; | % об. | 5,005 | 19,11 |
| | | % об. | 15,05 | 72,4 |
| 7 | Коефіцієнт надлишку повітря на межах спалахування: на нижній межі α_H ; на верхній межі α_B ; | част.од | 1,994 | 4,163 |
| | | част.од | 0,593 | 0,375 |
| 8 | Вміст горючого газу в суміші з повітрям за умови стехіометричної реакції горіння $L_{ст}$; | % об. | 9,5 | 45,07 |
| 9 | Температура горіння газу $t_{гор}$ | °C | 2763,7 | 1674,6 |

Широкі межі спалахування, значна швидкість розповсюдження полум'я, і незначна теплота згорання штучного газу у порівнянні з природним спричинені високим вмістом у генераторному газі H_2 (до 25 % об.) і CO (до 26 % об.). Але при цьому температура продуктів згорання генераторного газу менша у порівнянні з природним у зв'язку із значними концентраціями баластних домішок у складі штучного газу – CO_2 (до 15 % об.) і N_2 (до 50 % об.).

Усереднений склад біогазу відрізняється від генераторного, має більшу теплоту згорання (до 23 МДж/м³), значну кількість CH₄, а також баласт (табл.2)

2. Усереднений склад біогазу [1].

| Назва компонентів | CO ₂ | O ₂ | CH ₄ | H ₂ | N ₂ | H ₂ S |
|--------------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
| Вміст компонентів, % об. | 31,7 | 0,4 | 67,2 | 0,1 | 0,5 | 0,1 |

У табл. 3 наведено характеристики нафтозаводського газу, склад якого змінюється за місяцями року.

3. Деякі характеристики нафтозаводського газу

| Характеристики газу | Січень | Лютий | Березень | Червень | Серпень |
|---|--------|-------|----------|---------|---------|
| Теплота згорання Q _н ^p , ккал/м ³ | 10138 | 9250 | 10656 | 10660 | 8390 |
| Теоретична потреба у повітрі V ₀ , м ³ /м ³ | 11,1 | 10,1 | 11,6 | 11,5 | 8,9 |
| Максимальний вміст CO ₂ ^{max} у продуктах згорання % об. | 13,1 | 12,9 | 13,2 | 13,3 | 12,7 |
| Щільність паливного газу ρ, кг/м ³ | 0,88 | 0,78 | 0,92 | 0,91 | 0,68 |
| Верхня межа спалахування L ^B | 18,7 | 19,8 | 17,9 | 18,5 | 22,4 |
| Коефіцієнт надлишку повітря на верхній межі спалахування α ₁ ^{верхн.} | 0,392 | 0,403 | 0,395 | 0,381 | 0,389 |
| Вміст водню у складі газу H ₂ , % | 42,4 | 44,8 | 37,5 | 42,2 | 54,5 |
| Температура горіння t, °C | 2093 | 2123 | 2185 | 2274 | 1755 |

Теплота згорання нафтозаводського газу значно більша за генераторний газ завдяки вмісту важких вуглеводнів. Хоча концентрація водню у нафтозаводському газі практично така ж, як і у генераторному. Основною ознакою штучних газів є високий вміст баласту (CO₂ і N₂) у їх складі, що погіршує горючі властивості палива.

Більшість газопальникових пристроїв, які занесено до довідників і альбомів сертифікованих пальників [1, 4], було сконструйовано і виготовлено для роботи на природному газі. Оцінка можливості їх роботи на інших видах газоподібного палива або оцінка взаємозамінності газів здійснюється за різними критеріями, але жоден із них не є абсолютно надійним і у повній мірі не може оцінити можливість забезпечення стабільності і сталості усіх характеристик топково-пальникових пристроїв у разі переходу з одного газу на інший. До таких характеристик належать:

- забезпечення сталості теплової потужності пальника і теплопродуктивності установки при переході з одного газу на інший, N = const;

- стабільність факела, відсутність явищ проскоку і відриву полум'я у всьому діапазоні регулювання роботи пальника;

- незмінність складу токсичних компонентів продуктів згорання (CO, NO_x, оксидів азоту, сажі та ін.);

- сталість величини швидкості розповсюдження полум'я.

У цілому взаємозамінними газами називають горючі газу, якщо один газ можна замінити іншим без зміни характеристик роботи

газоспалювальних агрегатів, пальників і без додаткового регулювання їх роботи.

Причиною наявності різних критеріїв взаємозамінності є те, що вони не отримані на основі фундаментальних законів, а є емпіричними. І різні гази, як і різні конструкції пальників мають різноманітні обмеження.

Так, критерій Воббе, який використовується у вітчизняній нормативній документації [1] оцінює в основному можливість забезпечення сталої теплової потужності агрегату при переході з одного горючого газу на інший:

$$- \text{простий критерій Воббе: } W_{O_1} = W_{O_2} = \dots W_{O_n} = \text{const} \pm 5\%; \quad (1)$$

$$\frac{Q_{H_1}^p}{\sqrt{\rho_1}} = \frac{Q_{H_2}^p}{\sqrt{\rho_2}} = \dots \frac{Q_{H_n}^p}{\sqrt{\rho_{1_n}}} = \text{const} \pm 5\%, \quad (2)$$

де W_{O_1} , W_{O_2} , W_{O_n} – значення простих критеріїв Воббе, які визначаються для горючих газів за величиною їх теплоти згорання ($Q_{H_i}^p$) і відносної щільності (ρ_i) за нормальних або стандартних умов;

– розширений критерій Воббе оцінює можливість використання однакового газоспалювального обладнання за умови підтримання перед пальниками різного тиску газу (P_i):

$$Q_{H_1}^p \sqrt{\frac{P_1}{\rho_1}} = Q_{H_2}^p \sqrt{\frac{P_2}{\rho_2}} = \dots Q_{H_n}^p \sqrt{\frac{P_n}{\rho_n}} = \text{const} \pm 5\%. \quad [3]$$

У Великій Британії для визначення взаємозамінності використовується метод еквівалентних вуглеводнів. Відмінності у нормальній швидкості розповсюдження полум'я, а також стабільності відносно відриву і проскоку полум'я різних газів враховує критерій Вівера. Оцінку меж горіння і повноти згорання газів здійснюють французьким методом індексів взаємозамінності Дельбо. Одним із таких індексів є індекс відсутності водню у складі суміші, він не повинен бути більшим за 10 % об.[4].

Результати досліджень. Високий вміст водню у складі штучних газів призводить до розширення діапазону між нижньою і верхньою межею горіння та ускладнює стабільний процес горіння без проскоку і відриву у пальнику. Суміш газу стає горючою у широкому діапазоні концентрацій.

Так, чистий генераторний має діапазон меж спалахування від $\alpha_n=4,15$ до $\alpha_b=0,375$, $\Delta\alpha=3,775$ (рис. 1). При такому широкому діапазоні меж спалахування забезпечити стаке горіння без проскоку полум'я в кінетичних пальниках майже неможливо. Збільшення частки природного газу у суміші дозволяє суттєво зменшити діапазон меж спалахування і зробити можливим спалювання суміші газів у пальниках. Для чистого природного газу межі спалахування такі: $\alpha_n=2$, $\alpha_b=0,59$, $\Delta\alpha=1,41$ (рис. 1).

На рисунках 2 та 3 наведено графіки зміни вмісту газу у горючій суміші на межах спалахування та зміни нормальної швидкості розповсюдження полум'я залежно від частки природного газу у суміші.

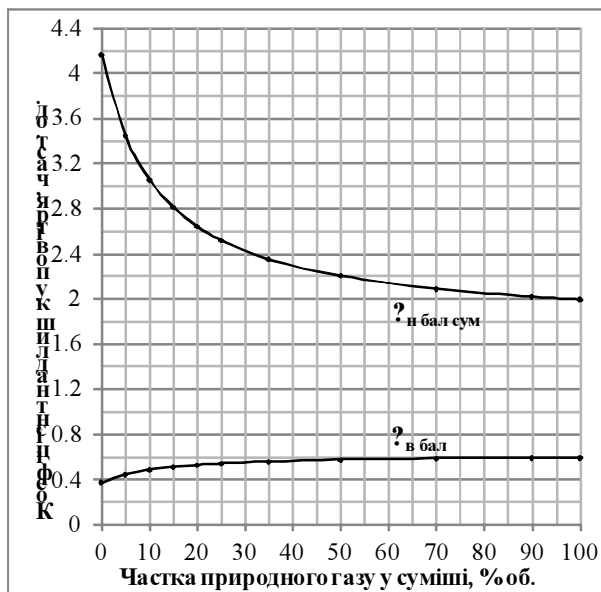


Рис. 1. Коефіцієнти надлишку повітря на нижній та верхній межах спалахування., част.од.

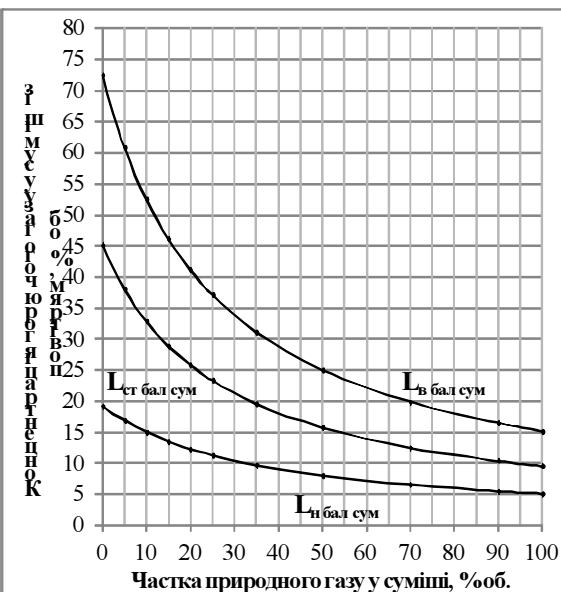


Рис. 2. Вміст газу на нижній і верхній межах спалахування та його стехіометричний склад, % об.

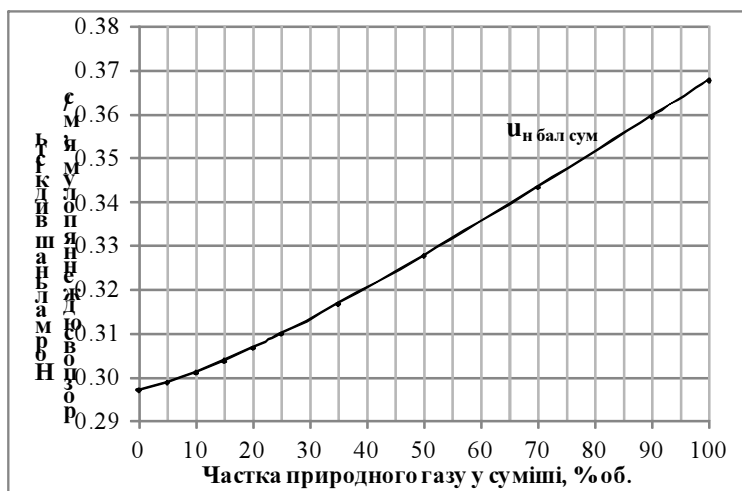


Рис.3. Нормальна швидкість розповсюдження полум'я, м/с

На роботу пальників суттєво впливає також зміна щільності газу. Вона спричиняє зміну витрат горючого газу, який проходить через вогневі отвори пальника, призводить до зменшення швидкості витікання газу через сопла і вогневі отвори пальників та зміни аеродинамічних умов перемішування газу з дуттьовим повітрям і впливає на повноту згорання та теплову потужність пальника. Так, при зміні щільності газу від $0,5 \text{ кг/м}^3$ до $1,2 \text{ кг/м}^3$ в умовах витікання газу у пальнику РГП-5 витрати газу зменшувались від $48 \text{ м}^3/\text{год}$ до $30 \text{ м}^3/\text{год}$ (тиск газу перед соплом становив 200 кПа). Вплив щільності і теплоти згорання газу на величину теплової потужності пальника обернено пропорційні.

У певному діапазоні зміни щільності і теплоти згорання газу можлива компенсація різновекторного впливу цих двох факторів на величину теплової потужності пальника, що створює умови рівнозамінності газів. Але при значних відмінностях у величині теплоти згорання газів вплив величини теплоти згорання стає більшим. Так, для нафтозаводських газів у діапазоні зміни щільності від 0,6 до 0,78 кг/м³ склад паливного газу практично не впливає на величину теплової потужності пальника. Але при збільшенні щільності від 0,8 до 1,2 за рахунок зменшення частки водню у газі теплова потужність пальника збільшується на 19 %.

Проведені дослідження свідчать про те, що генераторні газы, як і нафтозаводські та біогаз, за жодним із вищезазначених критеріїв не є взаємозамінними з природним газом. Крім того, спалювання газів із значною кількістю водню призводить не лише до змін у роботі газопальникових пристроїв, а й до зміни інтенсивності теплообміну в топковому просторі теплогенерувального обладнання. Критерієм відмінностей процесу теплообміну може бути співвідношення кількості карбону і гідрогену в елементарному складі горючого газу C_p/H_p , що впливає на емісійну тепловіддачу факела (рис.4).

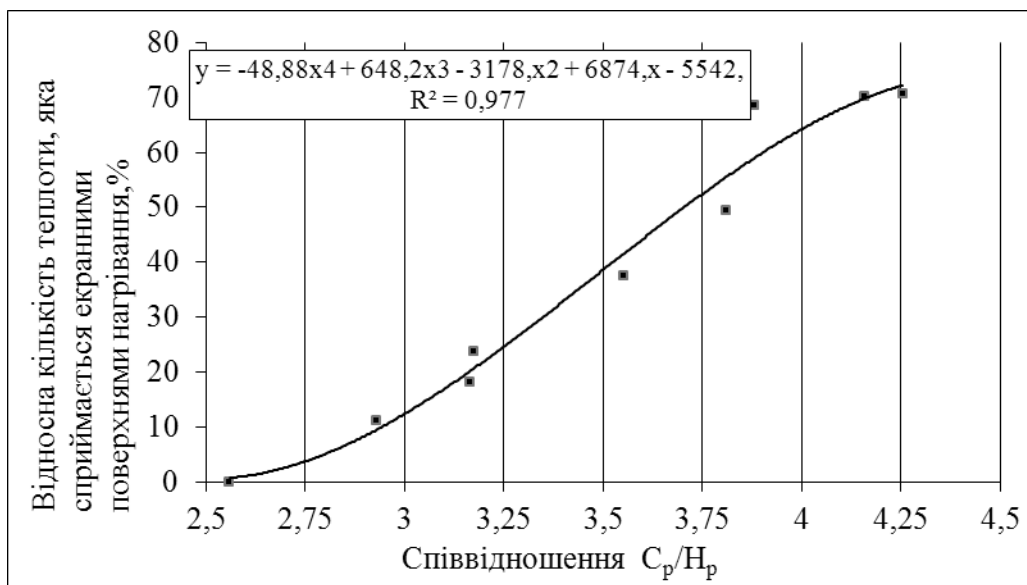


Рис.4. Вплив складу газу на емісійну тепловіддачу у топковому просторі

Зменшення відношення C_p/H_p призводить до скорочення кількості теплоти, яка сприймається екранними поверхнями нагрівання і до збільшення температури на виході із топки. Зазначене вище пояснюється впливом сажі, яка утворюється на проміжних стадіях горіння у факелі, на тепловіддачу випромінюванням.

На рис. 5 показана залежність вмісту водню у складі штучного газу на співвідношення C_p/H_p .

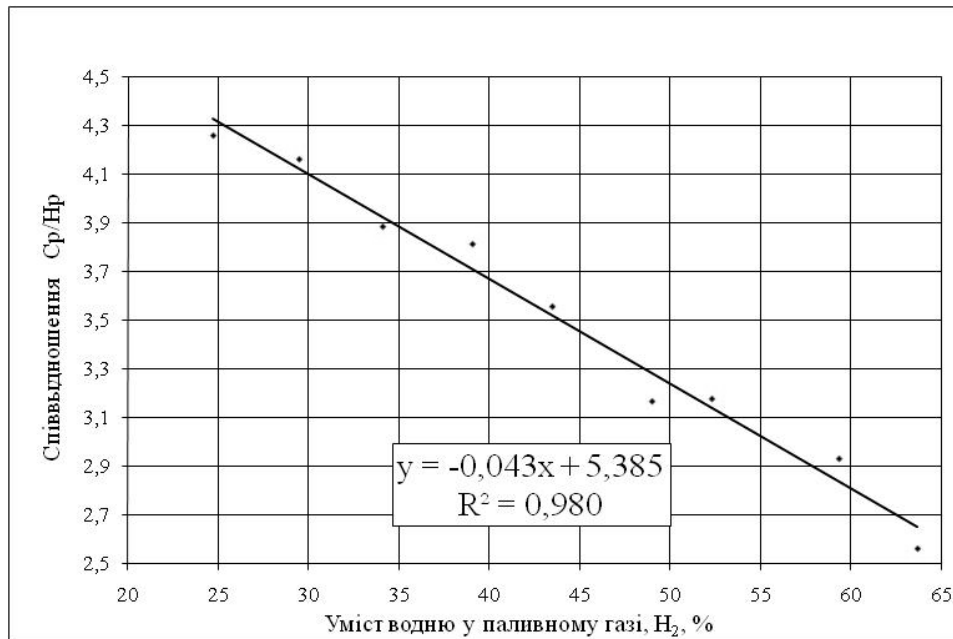


Рис. 5. Вплив кількості водню у складі горючого газу на співвідношення C^P/H^P в елементарному складі газу

Висновки

Проведені дослідження показали, що досягнення взаємозамінності за одним із критерієм (Воббе) можливе лише за умови попереднього змішування природного газу із незначною часткою генераторного і подачі такої суміші до пальників, призначених для спалювання природного газу. Але частка генераторного газу у такій суміші не повинна перевищувати 6-11% об., що не може задовольняти амбіційні плани із заміщення природного газу на альтернативні і відновлювальні джерела енергії.

Таким чином, використання генераторних і інших штучних газів, для яких критерії взаємозамінності з природними газами не є однаковими у допустимих межах відхилень, неможливе без внесення змін у конструкцію газопальникових пристроїв або використання спеціальних пальників. Отже, можливості швидкого переходу з одного виду газового палива на інший і реалізації переваги використання газового палива у порівнянні з твердим немає.

Список літератури

1. Газы горючі природні родовищ України для промислового та комунально-побутового призначення : ТУ У 320.001.58764-033-2000. – К. : Вид-во "Київ", 2000. – 37 с.
2. Иванов Ю. В. Основы расчета и проектирования газовых горелок / Ю. В. Иванов. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 360 с.
3. Сигал И. Я. Особенности горения и опыт сжигания биогаза в промышленных котлах [Электронный ресурс] / И.Я.Сигал, А.В.Марасин // Праці 10 міжн. Конф. " Енергіябіомаси", Київ, 23-24 вересня 2014 р. – К., 2014.
4. Natural gas — Quality designation : EN ISO 13686 . – Introduced 2007-09-01. – W. : Austrian Standards Institute, 2007. – 48 p.

ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ С ПЕРЕМЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

В.А. Колиенко, Е.В. Шелиманова

Рассмотрены вопросы взаимозаменяемости искусственных газов и природного газа. Исследованы основные горючие характеристики смеси генераторного газу воздушной газификации и природного газа. Определена оптимальная доля природного газу в горючей смеси.

Ключевые слова: взаимозаменяемость, искусственные газы, сжигание смеси газы, генераторный газ

FEATURES OF COMBUSTIBLE GASES BURNING WITH VARIABLE COMBUSTION PROCESS

V. Kolyenko, O. Shelimanova

In the article the interchangeability problems of artificial gases and natural gas are considered. Main combustible characteristics of a combustible gas mixture made of producer gas of air gasification and natural gas are analyzed. The optimal part of natural gas in the fuel mixture is determined.

Keywords: interchangeability, artificial gases, gas mixture combustion, producer gas

УДК 621.3.066.5/6:636

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРОПЛАВЛЕННЯ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ, ЩО ВИГОТОВЛЕНІ З ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

*В.В. Коробський, кандидат технічних наук
І.М. Виноградов, студент магістратури
e-mail: kor-vlad-2002@mail.ru*

Наведено результати розрахунків глибини проплавлення контакт-деталей електромагнітних пускачів для найпоширеніших контактних матеріалів при однократній комутації струму. Струмові навантаження вибрано для пускачів 1 та 2 величини. Формулу для визначення глибини проплавлення отримано при рішенні рівняння теплопровідності з урахуванням граничних умов II роду.

Ключові слова: глибина проплавлення, контакт, електромагнітний пускач, температура, теплопровідність, контактний матеріал