

*О.М.Новохатський, Донбаський державний технічний університет*

## **РОЗРОБКА НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ФУРМИ ДЛЯ ПОДАЧІ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ДОБАВОК У СУМІШІ З КИСНЕМ У ГОРНО ДОМЕННОЇ ПЕЧІ**

Новохатський О.М.

Розробка нової конструкції фурми для подачі вуглеводневих добавок у суміші з киснем у горно доменної печі

Наведено результати теоретичних та практичних досліджень пристроїв для подачі вуглеводних добавок у горно доменної печі.

*Ключові слова:* доменна піч, горно, фурма, вуглеводневі добавки.

Новохатский А.М.

Разработка новой конструкции фурмы для подачи углеводородных добавок в смеси с кислородом в горн доменной печи

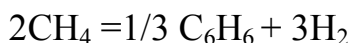
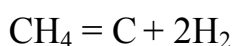
Приведены результаты теоретических и практических исследований устройств для подачи углеводородных добавок в горн доменной печи.

*Ключевые слова:* доменная печь, горн, фурма, углеводородные добавки.

Ефективність використання вуглеводневих добавок як заміника коксу при виплавці чавуну в доменній печі визначається економічною ситуацією, цінами на них, коефіцієнтом заміни коксу, окупністю установок. Гранична величина ефективності подачі вуглеводневих добавок визначається повнотою їх згоряння у фурменому вогнищі, розподілом газів по перетину печі, ступенем використання їх теплової і відновної енергії в поєднанні з високо інтенсивним ходом доменної плавки. Із збільшенням витрати додаткового палива ефективність використання вуглеводневих добавок зменшується, оскільки знижується коефіцієнт заміни коксу. Частина вуглецю піддається піролізу через недосконалість введення палива у фурмений прилад. Для забезпечення повнішого використання вуглеводневих добавок необхідно забезпечити їх введення через фурмений пристрій у фурму печі з оптимальним співвідношенням швидкостей струменів палива і гарячого дуття.

Недосконалість способів введення вуглеводневих добавок приводить до утворення сажі, яка потрапляє в нижню частину печі, де перетворюється під впливом високих температур у графіт. При цьому шлак стає гетерогенним, збільшується його в'язкість, зменшується пористість стовпа горнового коксу і відповідно місткість металоприймача, що приводить до захаращування горна доменної печі і, як наслідок, до погіршення техніко-економічних показників доменної плавки.

Природний газ, що подається до доменні печі, складається з граничних вуглеводнів, в основному – метану, який не є теплостійким. При високих температурах він руйнується, переходячи в більш стійкі при даній температурі газу. Так, при температурі вище 1130<sup>0</sup>С, метан починає розкладатися згідно рівнянням:



Константи рівноваги і швидкості цих оборотних реакцій залежать від температури, тиску, концентрації реагентів, наявності каталізаторів.

Горіння газового палива є сукупністю складних аеродинамічних, теплових і хімічних процесів. Один з них – процес утворення суміші – передує горінню, здійснюється до введення газу і окислювача в зону горіння або ж одночасно з подачею газу і повітря.

Залежно від місця і методу підготовки гарячої газоповітряної суміші можуть створюватися умови для кінетичного і дифузійного горіння. Для горіння в кінетичному режимі газоповітряну суміш готують зовні зони горіння. При дифузійному горінні природний газ і повітря окремо підводять до місця згорання, де і утворюється горюча суміш [1, 2].

Горіння протікає звичайно по ланцюговій реакції з розгалуженими ланцюгами, коли кожна молекула породжує ряд нових активних центрів, які швидко прискорюють хід реакції, тобто носить вибуховий характер. В технічних пристроях швидкість згорання лімітується не швидкістю хімічного регулюван-

ня, а визначається утворенням суміші – фізичним процесом змішування горючих газів з окислювачем.

Склад продуктів термоокислювального піролізу, зокрема кількість сажі, що виділилася, визначається температурою суміші газів, відношенням парціального тиску кисню і метану, і ступенем стиснення суміші. Чим вища температура, тим при нижчому відношенні  $O_2 : CH_4$  можливе виділення вуглецю сажі [3]. Якщо це відношення більше 0,5, то при 1200–1500<sup>0</sup>C і атмосферному тиску виділення сажі в рівноважному стані неможливе.

Термодинамічний аналіз показує, що в умовах доменної печі (відновна атмосфера, високі температури) вірогідність піролізу метану з виділенням вуглецю сажі висока, і природний газ, що не прореагував в зоні горіння, потрапляючи у відновну атмосферу, знаходить сприятливі умови для розкладання з утворенням вуглецю сажі.

Утворення сажі при спалюванні можна б було уникати, створивши умови, які сприяють швидкому окисленню вуглеводів. Для помітного розвитку реакцій окислення потрібен певний час. Бурхливому полум'яному горінню передують індукційний період – час, необхідний для нагрівання і накопичення активних центрів. Але оскільки вуглеводи теплонестійкі, вони можуть руйнуватися раніше, особливо при високих температурах і невеликих концентраціях кисню [4]. Отже, хороший контакт пального і окислювача і добре утворення суміші природного газу і дуття – найважливіша умова інтенсивного і повного згоряння палива. Чим краще контакт між природним газом і дуттям, тим швидше і повніше протікає процес згоряння, тим вища за однакових умов температура у фурмених вогнищах, тим економічніше і продуктивніше працює агрегат.

Кількість природного газу, яку можна подати в піч і ступінь його газифікації залежать від конструктивного оформлення підведення додаткового палива, що приводить до необхідності перевірки ряду конструктивних рішень для вдуння природного газу у фурмене вогнище горіння. Робилися спроби вдувати газ не тільки через повітряні фурми, а і через спеціальні пристрої, встановлені у фурмі, заплечиках і шахті. Випробування таких пристроїв показало їх низьку

стійкість і ефективність. При цьому спостерігалось погіршення використання енергії природного газу. Це було викликано тим, що не весь газ розкладався в печі і брав участь в процесі. В колошниковому газі в цих випадках виявлявся метан в кількості до 1,5% [5].

Найбільше поширення набули пристрої підведення природного газу в повітряну фурму. Практика показала, що такий вид підведення забезпечує ефективніше використання газу в процесі доменної плавки. Навіть при вдуванні додаткового палива в кількості більше  $100 \text{ м}^3$  на тону чавуну при роботі на звичайному дутті в колошниковому газі метан відсутній. Проте, з підвищенням витрат природного газу, коефіцієнт заміни коксу знижується з 0,85 до 0,65, підвищується вміст водню в колошниковому газі, посилюється піроліз газу з виділенням вуглецю сажі. З одного боку, не використовується відновна здатність водню, з іншою – в процесах не бере участь вуглець сажі, якому у горні відведена негативна роль.

У період відпрацювання технології вдування природного газу було розглянуто декілька варіантів його підведення через повітряні фурми. По місцю введення газу в струмінь дуття вони розділяються на підведення газу через водоохолоджувану частину фурми, у фланець фурми і через сопло фурменого приладу.

У даний час найбільше поширення набули перші два варіанти. Це викликано тим, що подача газу або іншого палива в сопло пов'язана з експлуатаційними труднощами. Оцінивши значення рівномірного змішування природного газу з повітряним потоком в доменній печі, доменщики стали прагнути до вдування максимальних кількостей газу. Існує два шляхи для досягнення цієї мети. Перший з них полягає в тому, щоб змішувати газ і дуття ще в повітряній фурмі, а другий – щоб потоки газу і дуття перемішувати вже у горні в зонах горіння перед фурмами.

Перший шлях змішування природного газу з дуттям вимагає сильного розмиття струменя газу потоком дуття для вирівнювання його концентрації у всьому об'ємі газоповітряної суміші. Це досягається найлегше при великій дов-

жині змішувача. Максимальне подовження ділянки змішування в повітряному приладі досягається при подачі природного газу в сопло фурменого приладу. Проте при цьому відзначається інтенсивне горіння газу вже в самій порожнині фурменого приладу, що ускладнює його експлуатацію і приводить до збільшення втрат тепла, зниженню стійкості елементів приладу, аж до згоряння фурми. Тому цей тип підведення вуглеводневих добавок не набув поширення.

Труднощі експлуатації такого типу підведення газу привели до того, що подачу його стали здійснювати через трубку, що проходить крізь водоохолоджувану частину фурми, або через фланець фурми. Найбільше поширення набув останній варіант (рис. 1а). Решті двом способам властиві серйозні недоліки. Проте короткий контакт палива з нагрітим повітрям не дозволяє йому повністю згоряти, що зменшує ефективність його використання.

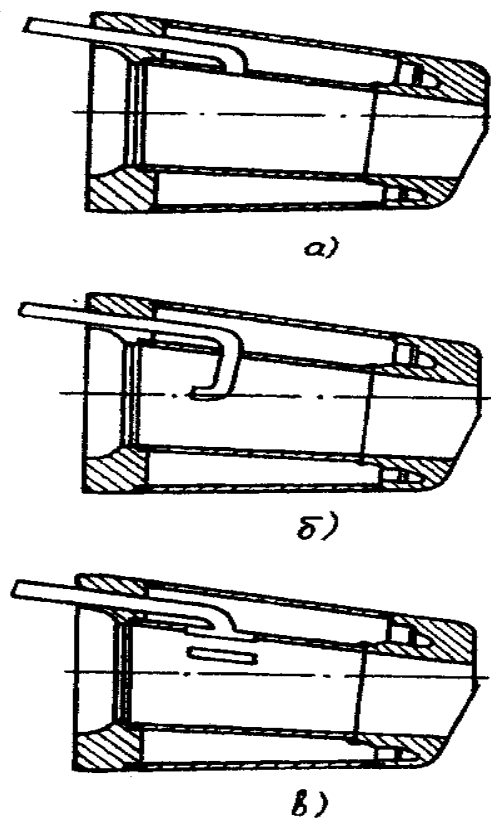


Рис.1. Способи підведення палива

Для поліпшення змішування потоку дуття з додатковим паливом використовувалася фурма з патрубком, направленим назустріч потоку, що підводить (рис. 1б). Фурма виявилася непрацездатною, оскільки патрубок, який підводив паливо, швидко відгоряв.

На Дніпродзержинському металургійному комбінаті випробовувалася фурма для дуття, що мала підведення вуглеводневого палива через щілини (рис. 1в). При цьому, безумовно, досягається якісніше змішування палива з дуттям, але така фурма складна у виготовленні і має високу вірогідність давати тріщини по зварних швах. Тому була поставлена задача розробити і випробувати фурму з сумісним підведенням природного газу і кисню.

Накопичений досвід введення додаткового палива через фурмений пристрій у горно доменної печі показав, що необхідно розробити надійну фурму, яка дозволяє інтенсифікувати процеси змішування палива з дуттям, з метою раціонального його використання. В Донбаському державному технічному університеті досліджено способи підведення палива в порожнину фурми з пристроями, що дозволяють ефективніше змішувати його з потоком дуття. Один з пристроїв (рис. 2а) є традиційним патрубком підведення палива, що входить в розташований в порожнині фурми тангенціальний розпилювач. Пристрій дозволяє розподілити паливо рівномірно по перетину потоку дуття і підвищити ступінь його використання. Але фурма має суттєвий недолік: протягом двох тижнів експлуатації тангенціальний розпилювач відгоряє через недостатню інтенсивність охолодження.

Була випробувана поліпшена конструкція фурми, яка діаметрально відрізнялася від попереднього рішення (рис. 2б). В охолоджуваній порожнині фурми розмістили два тангенціальні підведення із зустрічною закруткою потоків. Така фурма пропрацювала близько 30 хвилин, після чого рильна частина оплавилася і горіла. Це відбулося через те, що, по-перше, посилювалося змішування палива з дуттям безпосередньо в районі фланця. Горюча суміш взаємодіяла в робочому об'ємі фурми, що викликало підвищення температур в локальній зоні робочого

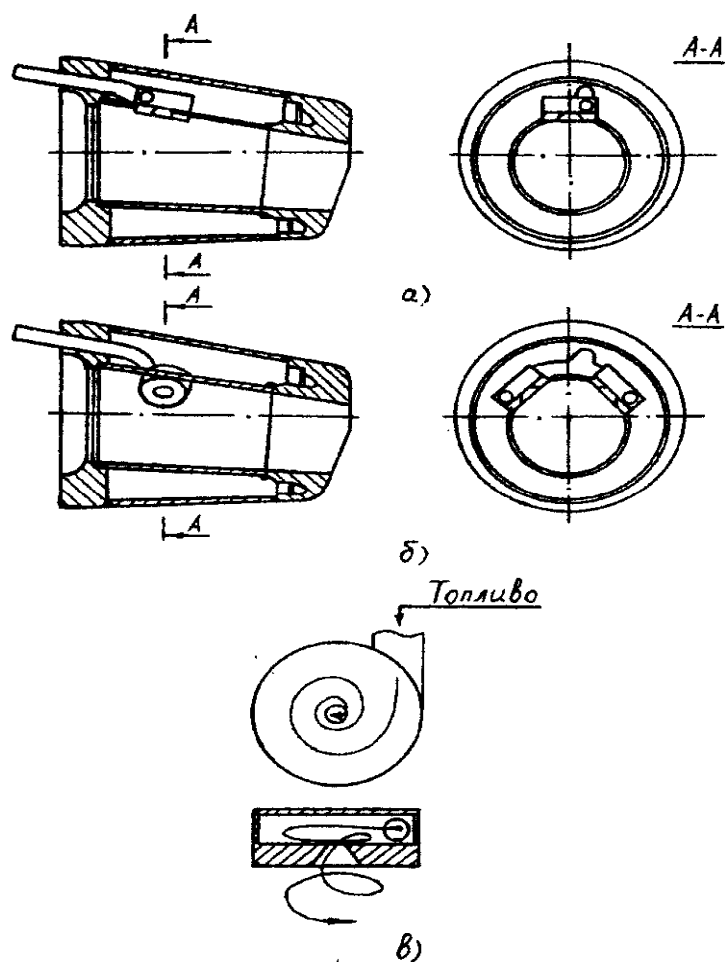


Рис.2. Підвод палива тангенційними розпилювачами

простору. По-друге, був зменшений ступінь охолодження фурми через розміщення тангенційних розпилювачів в її порожнині. Схема розпилювача, розташованого всередині охолоджуваній порожнині фурми, показана на рисунку 2в.

Невдалий досвід використання розглянутих фурм показав, що додаткове паливо на звичайних фурмах повністю не згоряє і засмічує горно печі. При проектуванні нової конструкції фурми необхідно врахувати, що вона повинна ретельно перемішувала паливо з киснем, а горіння вибухонебезпечної суміші відбувалося зовні її меж, а саме – в порожнині фурменого вогнища горіння. Причому фурма повинна зберігати існуючу ефективність охолодження, бути надійною і вибухобезпечною.

Горіння вуглеводневого палива в суміші з киснем досліджувалося на вогняному стенді, схема якого показана на рисунку 3.

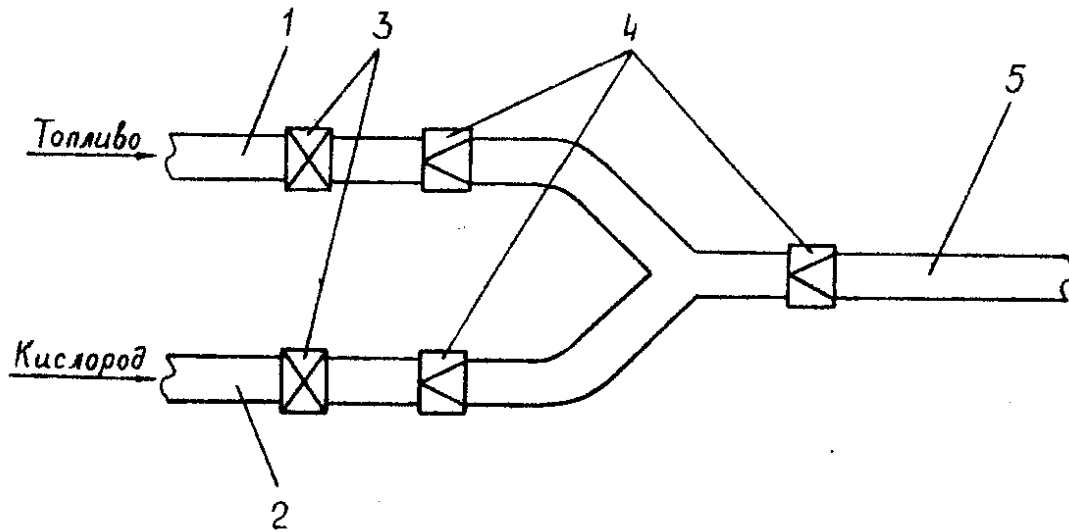


Рис.3. Схема вогняного стенду

Установка складається з патрубків підведення палива (1) і кисню (2), пристрою для регулювання витрат палива і кисню (3), трьох зворотних клапанів (4), призначених для оберігання конструкції від скупчення вибухонебезпечної суміші в робочих порожнинах, і патрубка для змішування окислювача і палива (5). Випробування проводилися на ливарному дворі доменної печі, поблизу від місця підведення трубопроводів компресованого технічного кисню і палива.

Спочатку подавалося паливо. На виході з патрубка змішувача воно запалювалось факелом. Горіння палива в кисні повітря було нестійким і млявим. Факел при цьому мав жовтий колір, і температуру біля 1200-1300<sup>0</sup>С. Для інтенсифікації горіння через другий патрубок подавався технічний кисень. Його витрату поступово змінювали від 0 до 2 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> палива.

Із збільшенням подачі кисню колір факела змінювався від яскраво-жовтого до біло-блакитного, а форма – від подовжньої до кулястої. При максимальній витраті кисню температура факела складала більше 2500<sup>0</sup>С, відрив факела від зрізу трубки – 150мм, що явно запобігало попаданню полум'я в патрубок змішувача. Горіння палива було повним і інтенсивним. Проведені випробування підтвердили працездатність нової конструкції для сумісного підведення палива і кисню.



У фурмі конструкції «Запоріжсталь» до патрубку, що підводить газ, був приєднаний змішувач палива і кисню аналогічний випробуваному. На одній з доменних печей Алчевського металургійного комбінату було проведено випробування експериментальної фурми. Спочатку до простору фурменого вогнища горіння подавалося паливо, яке потрапляло в струмінь дуття і починало палати. Потім подавався кисень. Фурма пропрацювала не більше 5 хвилин, після чого відбувся вибух з руйнуванням патрубка змішувача. Для підтвердження, що ці результати не випадкові, була виготовлена ще одна експериментальна фурма аналогічної конструкції. Результати повторного випробування виявилися такими ж. Умови роботи фурми на доменній печі відмінні від роботи вогняного стєнду. Через високий тиск у вогнищі горіння суміш палива з киснем вибухонебезпечна в закритому просторі (в патрубку змішувача) і має здатність до детонаційного горіння. Тому було ухвалено рішення змішування вибухонебезпечного середовища проводити за межами патрубків у фурменому вогнищі горіння.

Експериментальний зразок був виготовлений із звичайної фурми. Патрубок для підведення палива було врізано під кутом  $90^{\circ}$  в безпосередній близькості від фланця, а в паливопідводящу трубу коаксiально вставлена трубка з неіржавіючої сталі для підведення кисню. Зріз трубки розташовувався на одному рівні із зрізом паливопідводящого патрубка.

Виготовлена фурма випробовувалася на діючій доменній печі. Як і у попередньому випадку, спочатку подавалося паливо. Після його запалювання додавали кисень, змінюючи його витрату від 0 до  $2 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  палива. Візуальні нагляді показали: у фурменому вогнищі при збільшенні витрати кисню колір полум'я змінився від яскраво-жовтого до біло-блакитного, що свідчить про повне і інтенсивне згоряння вуглеводневого палива. Фурма випробовувалася протягом двох днів і показала надійність роботи конструкції.

Проте перепад температур між напірною і витікаючою водою, що йде на охолодження, збільшився з  $4^{\circ}\text{C}$  до  $8-9^{\circ}\text{C}$ . Процес інтенсивного горіння в цьому випадку починався в порожнині робочого простору фурми, що і привело до нагріву охолоджуючої води. В цій конструкції є передумови до швидкого прого-

ряння фурми. Випробування показали, що місце і кут підведення патрубків повинні бути змінені.

Ескіз розробленої конструкції фурми (1) показано на рисунку 4 [6]. В новому варіанті введення через фланець фурми (2) патрубка з коаксиально розташованими трубками підведення (3,4) здійснено ближче до рильної частини під кутом  $30-35^{\circ}$ . При прийнятому куті підведення паливо змішується з киснем, суміш потоком дуття відхиляється до осі фурми і виноситься у вогнище горіння, де на відстані 250-300 мм від рила фурми відбувається запалювання і повне згоряння палива. Фурма має здатність при мінімальному і максимальному дуттевому режимі відхилювати факел струменя суміші, що горить, в таких межах по перетину фурми, при яких виключається можливість саморуйнування в результаті оплавлення рила фурми.

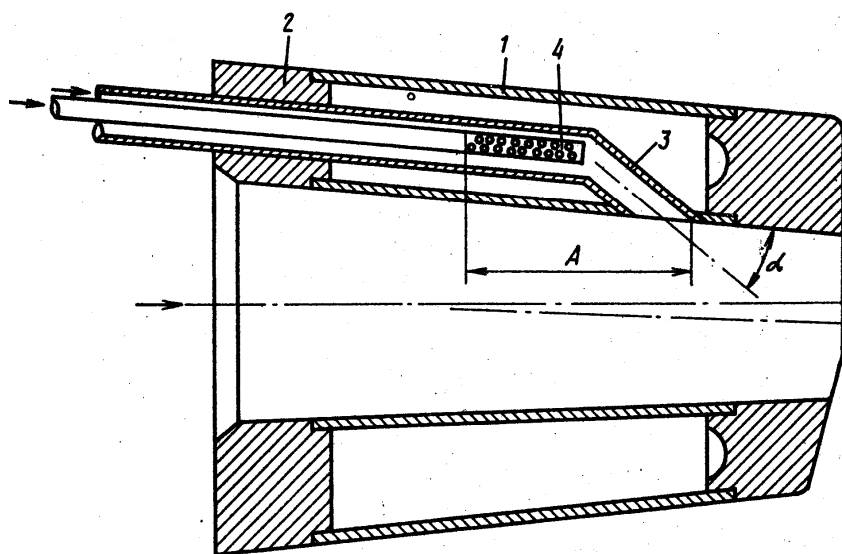


Рис.4. Фурма доменної печі для сумісного вдування вуглеводневого палива і кисню

Дванадцять експериментальних фурм випробовувалися одночасно на печі об'ємом  $960 \text{ м}^3$ , що має 14 фурмених пристроїв, протягом доби. Горіння суміші додаткового палива з киснем було стійким. Відхилень в роботі устаткування не спостерігалось.

Перепад температур між напірною і витікаючою водою, що йде на охолодження експериментальних фурм, змінювався в межах припустимих значень (4-5<sup>0</sup>С). Візуальні нагляди вказували на інтенсивніше горіння палива, ніж без подачі кисню.

Таким чином розроблена конструкція фурми з використанням суміші вуглеводневих добавок з киснем сприяє створенню умов для повного згоряння палива, зниження кількості випадків захаращується горна печі графітовою спелю, поліпшенню техніко-економічних показників металургійного агрегату.

### Література

**1. Зельдович Л.Б., Воеводский В.В.** Тепловой взрыв и распространение пламени в газах. М.: 1947. – 205с.

**2. Бугаёв К.М.** К вопросу о пиролизе природного газа в доменной печи. // Металлургия чугуна. М.: – 1969, вып.8. – С. 123-133.

**3.Гриненко Б.С., Зелизний А.М.** Производство ацетилена из природного газа. Киев: Гостехиздат, 1963. – С. 19-43.

**4.Товаровский И.Г., Воловик Г.А. и Бондаренко В.И.** Аналитическое исследование тепловых явлений доменного процесса при варьировании параметров комбинированного дутья. // Сталь – 1976, №10. – С. 883-888.

**5.Отработка** технологического процесса выплавки чугуна с использованием горячих восстановительных газов в опытно-промышленных условиях НПО «Тулачермет»: Отчёт о НИР (заключ.)/ Научно-исследовательский институт чёрной металлургии имени М.П.Бардина. – № ГР 01830029916; Инв. № 02860002272. М., 1985. – 61с.

**6. А.С. № 152727/ (СССР)** Дутьевая фурма доменной печи/ Новохатский А.М., Гордиенко В.А., Первушин С.И. и др.- Оpubл. в Бюл №45 07.12.89,МКИ.- С.21 В 7/16.

Novohatsky A.M.

Development of a new construction of tuyere for the feeding of hydrocarbon additions in a mixture with oxygen into the hearth of blast – furnace.

The results of theoretical and practical researches of devices for the feeding of the hydrocarbon additives into the hearth of blast – furnace are presented.

*Key words:* blast – furnace, hearth, tuyere, hydrocarbon additives.

Відомості про автора

*Новохатський Олександр Михайлович* – кандидат технічних наук, декан факультету металургії Донбаського державного технічного університету.