

ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ КАМЕР ГАЗИФІКАЦІЇ ГАЗОГЕНЕРАТОРІВ ОБЕРНЕНОГО ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ ТА СПОСОБІВ ФОРМУВАННЯ ЗОНИ ГОРІННЯ

Н.М. Цивенкова
асистент

Досліджено важливий конструктивний елемент газогенератора оберненого процесу газифікації – камеру газифікації. Для узагальнення інформації було розглянуто різні типи найбільш розповсюджених конструктивних рішень камер газифікації, виділена їх залежність від умов газифікації, в тому числі від виду палива. Окремо досліджено способи формування зони горіння та газифікації залежно від виду камери газифікації, впорядковано основні параметри камери газифікації, необхідні для створення математичної моделі, що описує максимально широкий спектр випадків і дозволить математично дослідити перспективи підвищення ефективності процесу газифікації та якості генераторного газу.

Постановка проблеми

В процесі газифікації твердого палива особлива увага приділяється наступним питанням: підвищенню якості генераторного газу; забезпеченню стабільності складу газу; зменшенню тривалості перехідних процесів; можливості регулювання параметрів процесу газифікації, в тому числі і безпосередньо під час циклу; оптимізація конструкції камери газифікації з метою створення багатопаливного газогенератора; підвищення терміну експлуатації камер газифікації, поліпшенню економічних показників обладнання для газифікації твердого палива.

Основним шляхом досягнення високих техніко-експлуатаційних характеристик газогенераторів є максимально різностороннє дослідження гами існуючих конструкцій камер газифікації, виділення основних критеріїв їх експлуатації та створення узагальненої моделі камери газифікації з метою подальшого математичного моделювання процесів, що відбуваються в шарах палива залежно від геометричних параметрів камери та шару палива, а також від факторів формування зони горіння.

Аналіз основних досліджень та постановка завдання

Підвищена цікавість науковців до процесів газифікації та газогенераторних установок, яка спостерігається з 2000 року, розширила діапазон досліджень літературних джерел. В результаті було проаналізовано конструкції камер газифікації газогенераторів, переважно малої та середньої потужності, як стаціонарних, так і транспортного типу, на основі більш ніж 100 патентів різних країн в часовому інтервалі від 1930 року по сьогодні. Найбільш вагомий вклад в теорію та практику конструювання газогенераторів був зроблений в період до 1970 року такими вченими, як Токарев Г.Г. [3], Мезин І.С. [2], Юдушкін Н.Г. [4]; та ін., сучасні дослідження, наприклад [1], в більшості випадків посиляються на їх досягнення. Деякі цікаві сучасні конструкції газогенераторів не обґрунтовані науково [12, 13]. Таким чином, не зважаючи на велику кількість наукових досліджень та практичних завдань, необхідним є узагальнення даних з метою обґрунтування конструкції багатопаливної камери газифікації для отримання високоякісного генераторного газу та здійснення стабільного процесу газифікації.

Першочерговим завданням даного дослідження є систематизація вихідних даних для математичного моделювання процесу газифікації залежно від постійних чи змінних параметрів, які визначаються конструктивними особливостями камери газифікації.

Об'єкт та методика досліджень

Об'єктом дослідження є процес газифікації твердого палива в газогенераторах оберненого процесу газифікації, його особливості, параметри, які визначають вибір конструкції камери газифікації та способу формування зони горіння. Для проведення дослідження використано комплекс методів наукового дослідження: порівняльний, теоретичний та статистичний, системний метод аналізу і синтезу.

Результати досліджень

З метою конкретизації результатів дослідження було розглянуто газогенератори оберненого процесу газифікації як окрему велику групу обладнання для газифікації, що відрізняється за принципіальною схемою здійснення процесу і має ряд спільних ознак. В процесі дослідження розглядалися також нетипові конструкції, але практика їх експлуатації не дала достатньо позитивних результатів для включення до основної групи.

Залежно від різниці, у використанні фізичного тепла газів, які виходять з камери газифікації, існують такі конструкції газогенераторів оберненого процесу газифікації [4]: з підігріванням палива у бункері; з підігріванням повітря; без використання фізичного тепла газів.

Газогенератори оберненого процесу газифікації існують: без усунення вологи і з усуненням вологи під тиском.

Важливим і найбільш вразливим елементом газогенератора є камера газифікації через обмежений ресурс її роботи, температурне навантаження, окислення та ін.

За технологією виготовлення камери газифікації розрізняють: литі; зварні; комбіновані (наприклад, з литим повітряним поясом та рештою деталей, виготовлених зварюванням). Камера газифікації часто має горловину (звуження). Конструктивно горловина може бути як окремо виготовленою конструктивною одиницею (змінною чи стаціонарною), так і складати з відлитою чи зварною камерою одне ціле. Існують камери і без горловини – це, найчастіше, зумовлено видом палива.

Таким чином, можна підсумувати, що конструкції камер газифікації відомі такі: без змінної горловини; зі змінною горловиною; без горловини.

Повітряне дуття в таких газогенераторах здійснюється наступним чином:

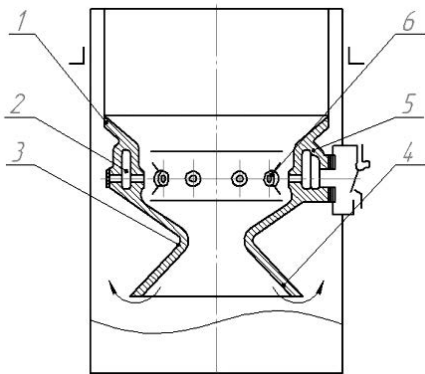
1) через сопло з однією чи декількома фурмами, яке розташоване по вісі газогенератора;

2) через фурми, які розташовані на камері у вигляді фурмового поясу (фурми стаціонарні або рухомі);

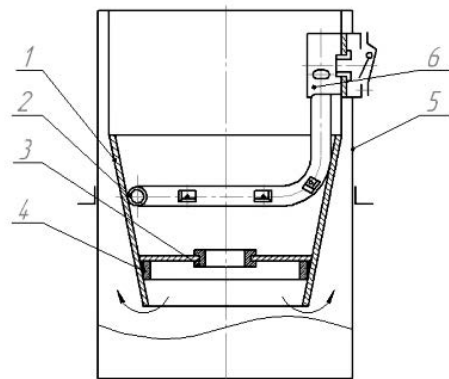
3) через комбіновані варіанти розташування фурм, що наведено у перших двох пунктах.

Залежно від розташування фурм, розрізняють газогенератори з дуттям: центральним; периферійним; комбінованим.

З метою збереження тепла зовнішні стінки газогенератора ізолюють (повна ізоляція, часткова або відсутня).



. 1.



. 2.

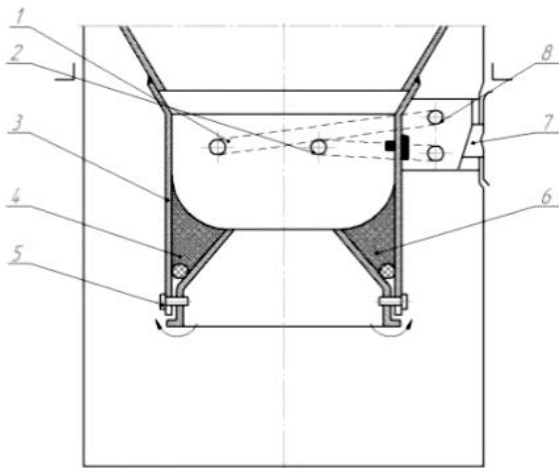
На рисунку 1 представлена схема лігвої камери газифікації, що стала елементом газогенераторного трактора ХТЗ-Т2Г, а також ряду інших конструкцій, переважно газогенераторів транспортного типу. Камера складається з верхнього пояса камери газифікації 1, повітряного пояса 2, горловини 3, розширювального конуса 4, патрубку введення газів дуття 5 та фурм 6. Камера газифікації приварена до бункера по верхньому поясу 1. Термін служби камери та бункера складає більше 1 тис. год.

Основними перевагами даної конструкції є простота та низька вартість її виготовлення. Недоліками є:

- малий термін служби камери газифікації (основний дефект – прогорання горловини);
- матеріал стінок камери (вуглецева сталь) нестійкий до дії водного розчину оцтової та мурашиної кислот, присутніх в складі продуктів сухої перегонки, які призводять до виходу з ладу бункера внаслідок хімічної корозії його стінок;
- обмеження можливостей регулювання процесу газифікації.

На рисунку 2 представлено зварну конструкцію камери газифікації зі змінною горловиною, яка складається з конуса 1, змінного повітряного пояса 2, горловини 3, азбестового шнура 4 для ущільнення горловини в камері, патрубка входу повітря 6, що прикручений до корпусу газогенератора 5.

Перевагою такої камери є відносна простота конструкції, низька собівартість виготовлення, можливість легкої заміни горловини на більш оптимальну за розмірами при зміні палива. Недоліком – деформація та зміна положення горловини у вертикальному напрямку внаслідок короблення горловини і конуса, що іноді призводить до її провалювання. Камера газифікації у формі перекинутого конуса перешкоджає осіданню шлаку, може спричинити його заклинювання в горловині при спіканні, тому вона не придатна для газифікації високосольних палив. Ущільнення горловини по периферії азбестовим шнуром в конічній камері є недостатньо надійним.



. 3.

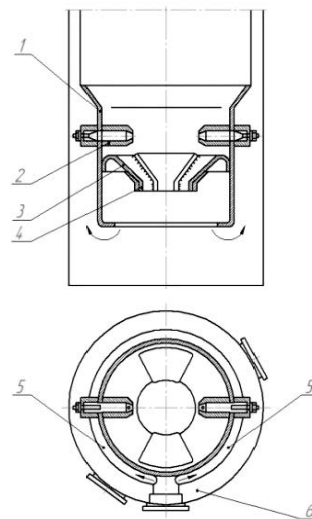
- 78

3

1

6

4,



. 4.

(. . .)

8,

2,

3.

6,

7

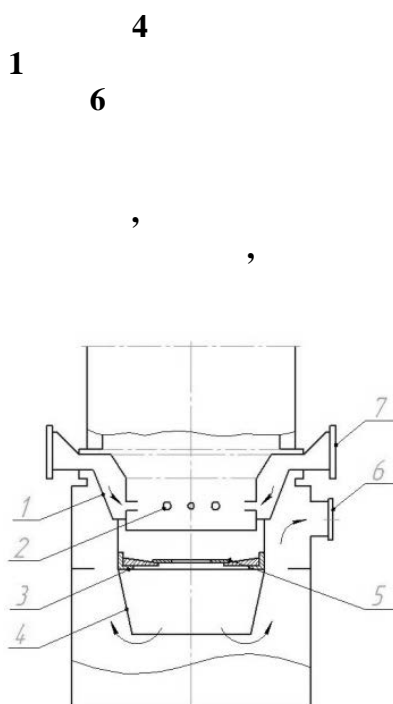


Рис. 5. Зварна камера газифікації зі штампованих деталей з горизонтальним змінним диском

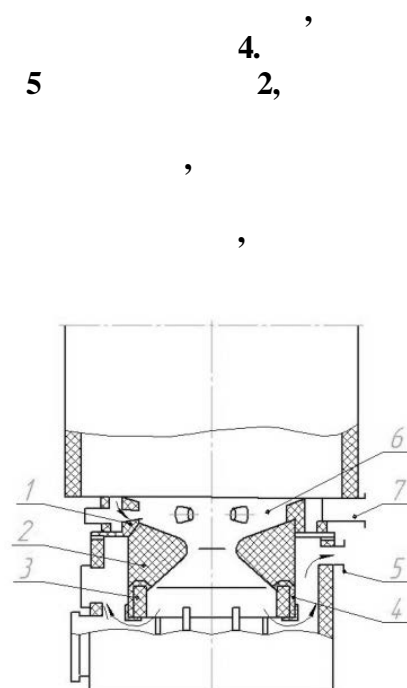


Рис. 6. Камера газифікації з керамічною горловиною

На рисунку 5 представлено зварну камеру газифікації зі штампованих деталей з горизонтальним змінним диском. Камера 4 має змінний диск 5, який розташований на горизонтальному плоскому кільці 3. Повітряний пояс 1 з периферійним дуттям має 24 фурми 2 та два патрубки 7 входу повітря. Газ виходить через патрубок 6.

Представлена на рисунку 6 конструкція камери газифікації з керамічною горловиною 2, на якій змонтований фурмовий пояс 1. Горловина змонтована на керамічному кільці 3 в циліндричній камері 4. До фурм 6 повітря потрапляє через патрубок 7, генераторний газ відводиться через патрубок 5.

Перевагою такої камери є те, що теплові втрати у зовнішнє середовище зменшуються внаслідок ізоляції стінок матеріалом з низьким коефіцієнтом теплопровідності; недоліком – низькі механічні властивості.

На рисунку 7 представлена комбінована камера газифікації трактора ГБ-58 зі змінною керамічною горловиною. Камера складається з литого сталевго конуса 1 з повітряним поясом зварювального циліндра 2 і змінною горловиною 3, яка знаходиться на опорному кільці 4, встановленому на шпильках 5. До повітряного пояса приварений патрубок входу повітря 6. Десять периферійних фурм 7 розташовані по внутрішній стороні пояса. В конструкції даної камери передбачено дві моделі змінних горловин: одна – $\varnothing 150$ мм, – призначена для газифікації деревинної біомаси; інша – конусна – $\varnothing 175$ мм – для газифікації торфобрикетів. Термін служби горловин в процесі експлуатації без заміни 1 тис. год., а камери – 2 тис. год. Для газифікації бурого вугілля з камери усувають горловину та опорне кільце.

Перевагами комбінованого способу повітряного дуття є зниження теплових напружень, зменшення шлакоутворення, оскільки повітря в камері розподіляється більш рівномірно.

На рисунку 8 представлена камера газифікації з центральним дуттям. До камери повітря потрапляє через зворотній клапан 2, трубу 2, сопло 3, яке має декілька отворів. Матеріал сопел камери – жаростійка сталь.

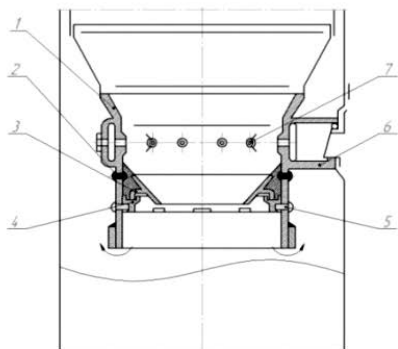


Рис. 7. Комбінована камера газифікації трактора ГБ-58

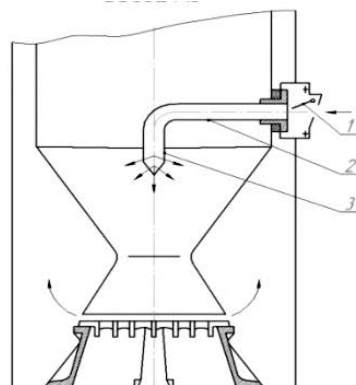


Рис. 8. Камера газифікації з центральним дуттям

Кількість фурм при периферійному способі повітряного дуття залежить від діаметра камери газифікації. Найменша кількість фурм – п'ять. Для камер газифікації з $\text{Ø}300\text{--}350$ мм при газифікації палив з золою, схильною шлакуватися, кількість фурм сягає 16–24 штук.

Фурми можуть набувати різної геометричної форми, наприклад, циліндричної чи конічної, зі знятими фасками на кінцях.

Таблиця 1

Аналіз камер газифікації газогенераторів оберненого процесу газифікації за сукупністю кваліфікаційних ознак

Класифікаційна ознака	Рисунок								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Спосіб виготовлення	Лиття, алітування	Зварювання, складання			Штампування, складання	Формування, спікання, складання	Лиття, зварювання, складання	Лиття	
Вид палива	Деревина (дрова)				Торф, брикетована біомаса	Вугілля, деревинні залишки	Деревинна та інша біомаса рослинного походження		
Спосіб подачі газів дуття	Через фурми по кільцевому каналу ззовні камери газифікації	Через фурми по кільцевому каналу всередині камери газифікації	Через фурми з незалежним підведенням по окремих каналах		Через фурми по кільцевому каналу ззовні камери газифікації			Через центральну фурму	
Матеріали камери газифікації	М'яка вуглецева сталь ($C = 0,17\text{--}0,20\%$)	Конструкційні (сталь 20), низьколеговані (20Х) або жаростійкі (15Х5М, 15Х6СЮ) сталі				Керамічні композиції (корднеріт, технічний фарфор)		М'яка вуглецева сталь з вмістом вуглецю 0,17–0,20%	
Складність конструкції	Низька	Середня			Середня	Висока	Середня	Низька	
Ресурс роботи, тис. год.	1	2	1	1	1	3	2	2	
Ремонтпридатність	Низька	Середня	Середня	Середня	Середня	Низька	Низька	Низька	
Підігрів газів дуття	+	+	-	+	-	-	+	-	
Конструктивний аналог	[4, 9, 15]	[4, 8]	[4, 10]	[3, 7]	[4, 3, 5]	[4, 3]	[4, 11]	[3, 6, 16]	

При використанні як матеріалу для виготовлення фурм м'якої сталі (сталь 10, сталь 20) спостерігається окислення внутрішньої поверхні фурм, внаслідок чого діаметр фурм зменшується. Під час конструювання повітряного пояса слід врахувати, що горловина фурми повинна бути розташованою на відстані 10–12 мм від внутрішньої стінки. Такий тип розташування фурм необхідний для запобігання прогорянню стінок камери газифікації. Швидкість повітря в каналі навколо камери газифікації при периферійному способі дуття допускається до 5–6 м/с. Однак розподілення повітряного дуття по периферії камери неоднакове для всіх фурм. В першій фурмі, яка знаходиться навпроти патрубка входу повітря, швидкість вища, але чим далі розташовані фурми від входу в канал, тим менша швидкість дуття. Для більш рівномірного розподілення кількості повітря по фурмах їх виготовляють різного діаметра: меншого – проти патрубка входу і більшого – по мірі віддалення фурм від місця введення повітря. Існують конструкції з двома входами, розташованими діаметрально протилежно.

З таблиці можна побачити нерівномірність розподілу ознак, низький взаємозв'язок між окремими ознаками, тому для створення комплексної моделі доцільно врахувати максимальну кількість елементів, властивих різним конструкціям.

За результатами проведеного дослідження слід зробити ряд важливих зауважень:

- більшість розглянутих моделей занадто спрощені, можливо, через відсутність на той час змоги виконувати моделювання за допомогою електронно-обчислювальних систем;
- відсутнє достовірне моделювання процесів газифікації з використанням тангенційних та просторово-орієнтованих фурм;
- слід розглянути різноманітні випадки та способи розташування фурм, не тільки одній чи кількох паралельних площинах, але й, наприклад, по спіралі Архимеда на конічній поверхні [14];
- для подальшого моделювання замість поняття «повітря» будемо використовувати поняття «гази дуття», що значно розширює можливості впливу як на процес газифікації, так і на склад генераторного газу;
- малодосліджені математично комбіновані способи подачі газів дуття в зону горіння.

Розглянувши попередні камери газифікації, робимо висновок, що найбільшого розповсюдження набули камери газифікації з периферійним типом дуття.

Наступним важливим етапом дослідження є складання за сукупністю розглянутих ознак комплексної моделі камери газифікації газогенераторів даного типу. Це необхідно для подальшого моделювання руху газів в газогенераторі. Для достовірного моделювання необхідно врахувати велику кількість факторів від геометричної форми камери та бункера до аеродинамічних властивостей шару палива.

Складена модель представлена на рисунку 9, де видно введені, порівняно з [1], вдосконалення, наприклад, урахування центрального дуття, просторова орієнтація фурм та ускладнена геометрія камери, яка більш повно описує різноманітні конструкції газогенераторів оберненого процесу газифікації. На схемі не вказаний важливий елемент – центральна дуттьова фурма, але в самій моделі передбачається врахування різних схем подачі газів дуття.

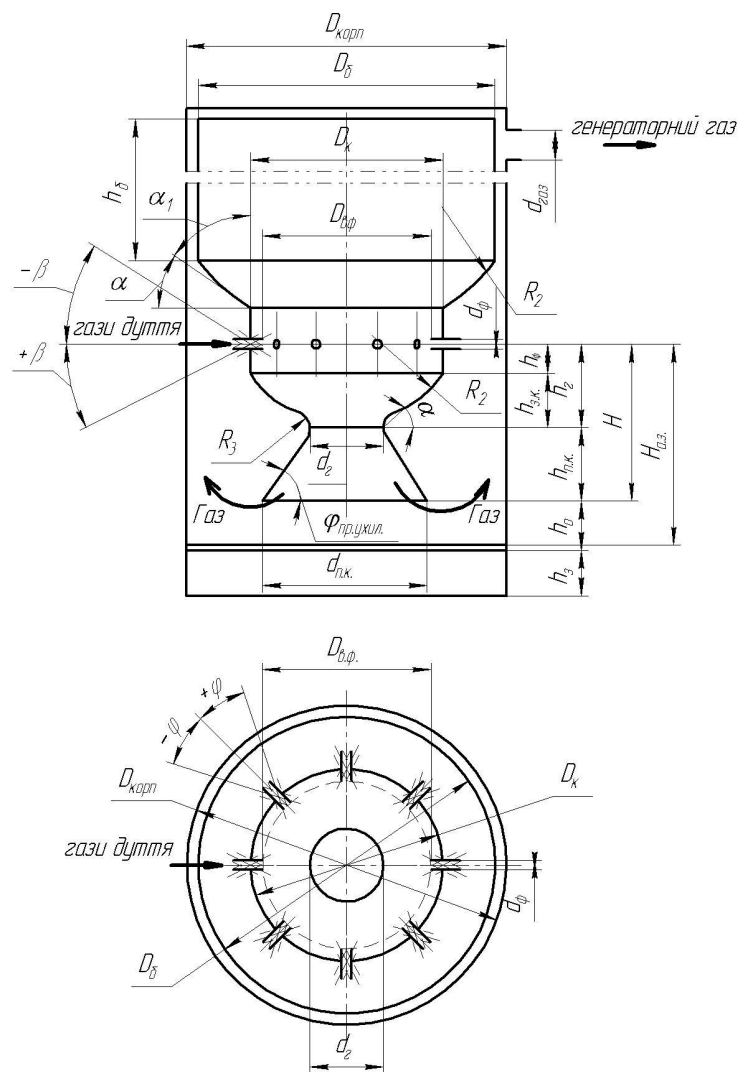


Рис. 9. Запропонована комплексна розрахункова модель камери газифікації газогенератора оберненого процесу газифікації

Розроблена модель підготовлена до опрацювання і дозволить дослідити формування зони горіння та газифікації в кожному конкретному випадку геометричної форми камери газифікації шляхом визначення параметрів, вказаних на рисунку 9. Наприклад, при $h_{кз} = 0$ нижня конусна частина відсутня, а при $R_2 \rightarrow \infty$ відповідна частина камери газифікації набуває конусної форми.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Головним результатом даного дослідження є створення підґрунтя для математичного моделювання зони горіння, що є одночасно і планом подальших досліджень. Саме дослідження комплексної моделі дозволить поєднати процеси оптимізації геометричних параметрів камери газифікації із використанням різних способів подачі газів дуття. Подальші дослідження також будуть спрямовані на створення регульовальних характеристик, які дозволять підвищити ефективність процесу газифікації та покращити склад генераторного газу.

Література

1. Лось Л.В. Дослідження особливостей конструкції транспортних газогенераторів для газифікації подрібненої та брикетованої соломи / Л.В. Лось, В.В. Іванцов // Вісник ЖНАЕУ. – № 2. – 2010. – С. 127–139.
2. Мезин И.С. Транспортные газогенераторы / И.С. Мезин. – М. : Сельхозгиз, 1948. – 311 с.

3. Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили / Г.Г. Токарев. – М. : Машгиз, 1955. – 207 с.
4. Юдушкин Н.Г. Газогенераторные тракторы / Н.Г. Юдушкин, М.Д. Артамонов. – М. : Машгиз, 1955. – 244 с.
5. Газогенератор : А. с. 14945. Российская федерация. МПК С10J3/20 / Н.Н. Мурин. – № 20876 ; Заявл. 15.11.1927 ; Оpubл. 30.04.1930.
6. Газогенератор : А.с. 1778150. Российская федерация. МПК С10J3/20 В.Н. Моршин, А.К. Леонтъев, Н.В. Пошернев, А.Ф. Смоляков – № 4694174 ; Заявл. 22.05.1989 ; Оpubл. 30.11.1992.
7. Пат. 2307864 RU, МПК С10J3/20, С10J3/30. Установка для газификации твердого топлива : Пат. 2307864 RU, МПК С10J3/20, С10J3/30 / В.Г. Лурий (RU). – № 2006107635/15 ; Заявл. 14.03.2006 ; Оpubл. 10.10.2007.
8. Пат. 2315083 RU, МПК С10J3/20. Газификатор твердого топлива : Пат. 2315083 RU, МПК С10J3/20 / А.Е. Князев (RU). – № 2006102507/15 ; Заявл. 30.01.2006 ; Оpubл. 20.010.2008.
9. Пат. 2074884 RU, МПК С10J3/20. Газогенератор обращенного процесса газификации : Пат. 2074884 RU, МПК С10J3/20 / В.А. Остапенко (RU), Г.С. Еременчук (RU), С.Г. Комаров (RU) ; Кооператив «Энергетика и экология». – № 93045198/04 ; Заявл. 22.09.1993 ; Оpubл. 10.03.1997.
10. Пат. 2341727 RU, МПК F23B30/00, С10J3/20. Газогенератор : Пат. 2341727 RU, МПК F23B30/00, С10J3/20 / П.Д. Шестаков (RU), А.А. Чекалкин (RU), Ю.В. Соколкин (RU), А.Л. Кислых (RU); Общество с ограниченной ответственностью «Наука-XXI» (RU). – № 2007110393/06 ; Заявл. 22.03.2007 ; Оpubл. 20.12.2008.
11. Пат. 2225429 RU, МПК С10B53/08, С10J3/02, С10J3/20. Опытная газогенераторная установка на древесном или торфяном топливе с паровоздушным дутьем : Пат. 2225429 RU, МПК С10B53/08, С10J3/02, С10J3/20 / И.М. Ветров (RU), А.Б. Шабаров (RU), О.В. Андреев (RU), А.В. Шатарин (RU) ; Тюменский государственный университет. – № 2003108085/15 ; Заявл. 24.03.2003 ; Оpubл. 10.03.2004.
12. Пат. 86980 UA, МПК В01J7/00, F23C7/00. Спосіб формування зони горіння газогенератора і газогенератор : Пат. 86980 UA, МПК В01J7/00, F23C7/00 / С.В. Калиновський (UA), А.Є. Михайловський (UA). – № а200614020 ; Заявл. 28.12.2006 ; Оpubл. 10.06.2009, Бюл. № 11. – 4 с.
13. Пат. 75529 UA, МПК С10J3/20, С10J3/32. Газогенератор для газифікації твердого палива : Пат. 75529 UA, МПК С10J3/20, С10J3/32 / В.І. Полтавець (UA), А.С. Язев (UA). – № а20040907430 ; Заявл. 10.09.2004 ; Оpubл. 17.04.2006, Бюл. № 4. – 4 с.
14. Пат. 30806 UA, МПК С10J3/00. Газогенератор : Пат. 30806 UA, МПК С10J3/00 / В.І. Ходаківський (UA). – № u200713182 ; Заявл. 27.11.2007 ; Оpubл. 11.03.2008. – 4 с.
15. Декл. пат. на корис. мод. 990 UA, МПК F23G5/00, F23G5/02. Газогенератор : Декл. пат. на корис. мод. 990 UA, МПК F23G5/00, F23G5/02 / Р.В. Гаврилов (UA), В.В. Гладкий (UA), О.П. Безкорсий (UA), А.М. Немнов (UA) ; Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро з кріогенної техніки фізико-технологічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України (UA). – № 2001010539 ; Заявл. 24.01.2001 ; Оpubл. 16.07.2001, Бюл. № 6. – 4 с.
16. Пат. 29287A UA, МПК С10J3/02. Газогенератор : Пат. 29287A UA, МПК С10J3/02 / Г.Г. Гелетуха (UA), І.С. Варганов (UA) ; Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України (UA). – № 98052297 ; Заявл. 06.05.1998 ; Оpubл. 16.10.2000, Бюл. № 5. – 3 с.