



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Харчова
ПРОМИСЛОВІСТЬ

24

КИЇВ НУХТ 2018

K 633.002.68: 620.9

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF GASIFICATION OF PLANT BIOMASS

Osmak, O. Seryogin

tional University of Food Technology

Key words:

gasification,
plant biomass,
optimization,
synthesis gas

Article history:

received 15.09.2018
received in revised form
11.10.2018
accepted 25.10.2018

Corresponding author:

osmakoo@ukr.net

ABSTRACT

The purpose of the work was to determine the optimal parameters of the process of gasification of plant biomass (husk of sunflower). A systematic analysis of the technological scheme for utilization of waste of organic origin with the help of the gas-generating power complex was carried out. From the analysis of the experimental data of the operation of the gas-generating unit it follows that the controllable parameters of the heat-generating capacity of the synthesis gas are significant: the moisture content of the plant raw material and the temperature in the combustion zone.

The most important task facing Ukraine is to maximize the use of its own renewable energy resources, in particular biomass, instead of imported natural gas.

At the state level, the energy use of biomass is stimulated by the introduction of a "green tariff" for biomass electricity.

One of the ways of energy conversion of biomass is its gasification. Most of the known gasification technologies aimed at producing combustible gas from biomass. But the gasification of the biowalls of the processing industry, namely, the fractional fuel plants and the bards of the distilleries, was not investigated. The simulation of biofuel gasification processes will improve the energy and technological characteristics of various components of bioremediation.

The thermochemical processes occurring in the biofuel layer in the gas generator are components for research and study. Interest is represented by the processes of heating and cooling of solid particles of organic substances and gas at the expense of radiation and heat-mass transfer. Once the physicochemical system reaches a certain temperature, these processes are accompanied by intense thermo-chemical transformations of various types.

Through mathematical modeling, an analysis of the thermo- and hydro-gas-dynamic processes of biofuels in the layer of oxidation zone is carried by the convective diffusion gas stream and pyrolysis liquids.

DOI: 10.24263/2225-2916-2018-24-22

© O. Osmak, O. Seryogin, 2018

FOOD INDUSTRY Issue 24, 2018

157

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ

О. Осмак, О. Серьогін

Національний університет харчових технологій

У статті встановлено оптимальні параметри процесу газифікації рослинної біомаси (лушпиння соняшнику). Проведено системний аналіз технологічної схеми для утилізації відходів органічного походження за допомогою газогенераційного енергетичного комплексу. Оптимізацію технологічного процесу газифікації здійснено шляхом розробки параметричної схеми центральної підсистеми, організації повного факторного експерименту і статистичної обробки результатів. З аналізу експериментальних даних роботи газогенераторної установки випливає, що на теплотворну здатність синтез-газу істотний вплив мають обрані керовані показники: вологість рослинної сировини і температура в зоні горіння.

Ключові слова: газифікація, рослинна біомаса, оптимізація, синтез-газ.

Постановка проблеми. Оптимізація в широкому сенсі знаходить застосування в науці, техніці і будь-якій іншій сфері людської діяльності. Загалом, оптимізацію визначають як цілеспрямовану діяльність, яка полягає в отриманні найкращих результатів при відповідних умовах [1; 3].

Розрахунки процесів і апаратів харчових виробництв, як правило, пов'язані з необхідністю вибору кращого варіанта з багатьох можливих. В умовах харчового виробництва цей вибір здійснюється на основі суб'єктивної оцінки і накопиченого досвіду технологів. Але навіть найдосвідченіші працівники не можуть розглянути й оцінити всі різні варіанти, які можуть виникнути в процесі виробництва. Рішення проблеми стає можливим завдяки постановці завдання оптимізації і знаходженню оптимальних результатів за допомогою комп'ютерної техніки.

Постановка завдання оптимізації вимагає:

- наявність об'єкта оптимізації та виявлення мети оптимізації;
- наявність ресурсів оптимізації, під якими розуміють можливість вибору значень деяких параметрів об'єкта. Об'єкт повинен мати певні міри свободи - керуючі впливи, що дають змогу змінювати його стан, зважаючи на вимоги й умови виробництва;
- можливість оцінки кількісної величини, оскільки тільки за цієї умови можна порівнювати ефекти від вибору тих чи інших дій, що управляють.

Оптимальний, або кращий варіант будь-якого об'єкта, повинен вимірюватися кількісною мірою - критерієм оптимальності. На основі обраного критерію оптимальності складається цільова функція, яка залежить від параметрів процесу і повинна бути записана в аналітичному вигляді. Завдання оптимізації зводиться до визначення її екстремуму (максимуму або мінімуму).

Критерій оптимальності детермінованого процесу в загальному вигляді може бути представлений як функція вхідних, вихідних і керуючих параметрів [2; 3].

Для вирішення завдання оптимізації необхідно знайти екстремум критерію оптимальності: максимум або мінімум. Крім того, в більшості завдань оптимізації виникають обмеження на параметри, що накладаються технологічними, експлуатаційними, конструктивними вимогами.

Мета дослідження: встановлення оптимальних параметрів процесу газифікації рослинної біомаси (лушпиння соняшнику).

Для вирішення завдань оптимізації необхідно виконати певні умови (табл. 1).

Таблиця 1. Основні умови вирішення оптимізаційних завдань

Основні умови	скласти математичну модель об'єкта оптимізації
	вибрати критерій оптимальності і сформулювати функцію мети
	встановити обмеження на параметри моделі
	вибрати метод оптимізації, який дає змогу знайти екстремальні значення шуканих величин

Найбільш часто оптимальним завданням служить вираз критерію оптимальності у вигляді економічної оцінки (наприклад, продуктивність, собівартість продукції). Однак в окремих задачах оптимізації, коли об'єкт є частиною технологічного процесу (апарат або агрегат в масштабі цеху, заводу, комбінату), не завжди вдається або не завжди доцільно виділяти прямий економічний показник, який характеризує ефективність роботи цього об'єкта. У таких випадках критерієм оптимальності може служити технологічна характеристика.

Матеріали і методи. Термохімічні процеси, які відбуваються в шарі біопалива в газогенераторі є складовими для дослідження і вивчення. Газифікації опалива передбачає сукупність взаємопов'язаних процесів (процеси подачі і пішування потоків реагентів біопалива, гідродинамічні процеси, процеси окиснення та газифікації).

Інтерес представляють процеси нагрівання та охолодження твердих частинок органічних речовин і газу за рахунок випромінювання й тепломасообміну. Для досягнення фізико-хімічною системою певної температури, ці процеси проводяться інтенсивними термохімічними перетвореннями різних типів. В результаті математичного моделювання, проведена оптимізація термо- і гідродинамічних процесів біопалива в шарі зони окиснення.

Викладення основних результатів дослідження. Свого часу для газифікації різного палива були розроблені і введені в експлуатацію різні газогенераторні установки, які конструктивно адаптувалися для досягнення конкретних експлуатаційних завдань: отримання тепла, електроенергії, синтез-газу, рудних концентратів рідкісних металів тощо.

Газогенераційний енергетичний комплекс ГЕКА-3 (Блок А на рис. 1) є важливою складовою частиною цілого спектра обладнання для утилізації дисперсних органічних відходів. Результати, отримані при газифікації в ньому різних видів низькосортного і високозольного палива, показали перспективність застосування технології газифікації для вирішення завдань зміни агрегатного стану рослинної біомаси.

Схема на рис. 1 є одним із запропонованих технологічних варіантів застосування ГЕКА-3. Комплекс працює таким чином: з приймального майданчика паливо (18) грейфером (3) за допомогою монорейки (1) і електричної талі (2) падає в буферну сміську для відходів (4), звідки воно направляється через дозатор (5) у газогенератор (6) на газифікацію. Після цього мінеральний попілок у вигляді золи через люк вивантаження золи (8) вивантажують у бункер золи (17) і відправляють споживачам. Для здійснення процесу газифікації в газогенератор (6) подають повітря, одержане від повітрорудної машини (7).

Отриманий генераторний газ через патрубок газу (9) направляють у циклон (10) для очищення від звислих частинок, циклон періодично розвантажують через спеціальний пристрій у бункер (17). Далі газ потрапляє в радіатор (11), де охолоджується. Потім генераторний газ спрямовується в фільтр тонкого очищення газу (12) для видалення тонко-дисперсних твердих частинок і додаткового охолодження до температури нижче 45...60°C і конденсованих парів смоли й води. Підготовлений таким чином генераторний газ подають через пристрій додаткового очищення (14) до споживача. У ролі споживача виробником рекомендується використання агрегата опалювального модульного АВМ-02.5 в комбінації з пальником типу ДСГМ-30 (15), або двигун внутрішнього згоряння типу ДДМА-75 (16) тощо.

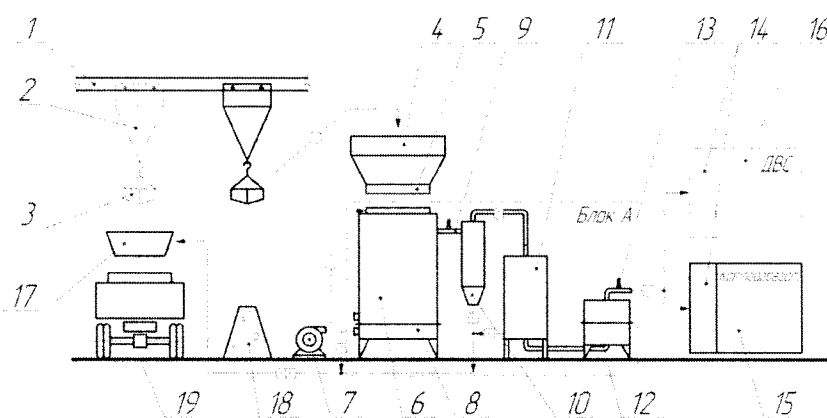


Рис. 1. Технологічна схема для утилізації відходів органічного походження за допомогою газогенераційного енергетичного комплексу ГЕКА-3:

- 1 — монорельс; 2 — таль електрична; 3 — грейфер; 4 — буферна сміть для відходів;
 5 — шлюз-дозатор; 6 — газогенератор; 7 — повітродувна машина; 8 — зольник;
 9 — газовий патрубок; 10 — циклон; 11 — радіатор (охолоджувач); 12 — фільтр тонкого очищення;
 13 — прилад для вимірювання температури; 14 — додаткове очищення газу;
 15 — котел; 16 — ДВС; 17 — бункер золи, конденсату; 18 — паливо; 19 — рама

Важливим етапом моделювання технологічного процесу є системний аналіз досліджуваної технологічної системи [1; 2]. Технологічна схема для утилізації відходів органічного походження за допомогою газогенераційного енергетичного комплексу ГЕКА-3 потрібно розглядати як складну велику систему, яку доцільно аналізувати виділенням у ній більш простих підсистем.

Для встановлення оптимальних параметрів процесу газифікації рослинної біомаси (лушпиння соняшнику) доцільно більш детально розглянути підсистему газифікації (рис. 2).

У результаті аналізу підсистеми газифікації рослинної біомаси встановлено, що головними керуючими параметрами підсистеми, які суттєво впливають на якісні характеристики процесу, є: температура, вологість і гранулометричний склад біосировини.

Вибір цільової функції підсистеми залежить від цілей функціонування системи [3; 5]. Мета цієї підсистеми — створити оптимальні умови для проведення процесу газифікації. Вихідним керованим показником, який найбільш повно характеризує цю технологічну операцію, є показник теплотворної здатності.

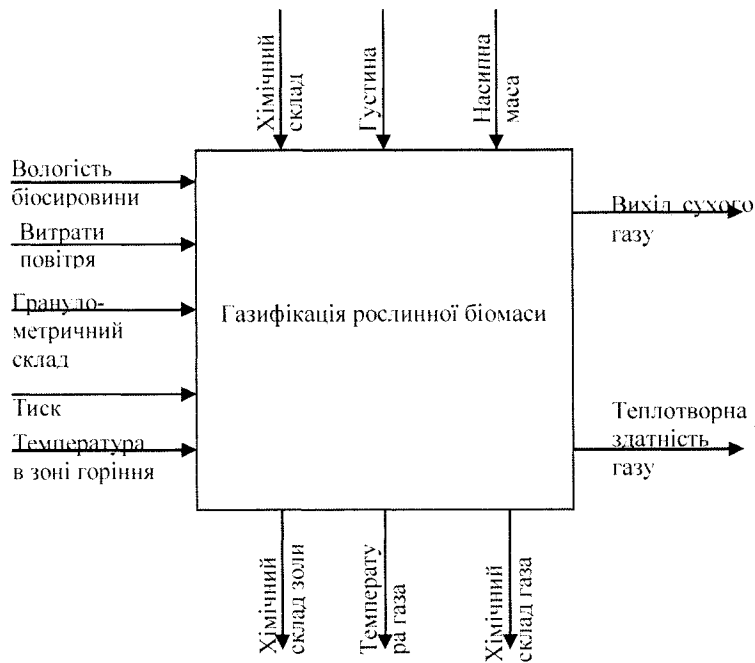


Рис. 2. Параметрична схема підсистеми газифікації рослинної біомаси

Найбільш повно досліджувати ступінь впливу кожного з показників і їхню взаємодію дає змогу проведення композиційного планування другого порядку (ОКП) [4; 5]. Вихідними даними для проведення ОКП є:

x_1 — гранулометричний склад 6 мм, інтервал варіювання 4 мм;

x_2 — вологість палива 40%, інтервал варіювання 30%;

x_3 — температура 1200°C, інтервал варіювання 300°C.

Кількість дослідів для ОКП розраховується за формулою:

$$N = N_0 + 2k + n_0,$$

де N — кількість дослідів; n_0 — кількість дослідів у центрі планування; k — число факторів; N_0 — число дослідів повного факторного експерименту 2^k . Тобто $N = 8 + 2 \cdot 3 + 1 = 15$.

Натуральні значення факторів перевели в кодовані змінні за формулою (1) [4; 5]:

$$x_i = \frac{C_i - C_{i0}}{\alpha_i}, \quad (1)$$

де C_i , C_{i0} — значення фактора в натуральних величинах, відповідно на верхньому, нижньому і нульовому рівні; α_i — інтервал варіювання фактора; i — номер фактора.

Матриця ОКП представлена в табл. 2.

Таблиця 2. Матриця планування експерименту в кодованих змінних

№ дослідів	x_1	x_2	x_3
1	2	3	4
1	-1	-1	-1

Продовження табл. 2

1	2	3	4
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1,215	0	0
10	1,215	0	0
11	0	-1,215	0
12	0	1,215	0
13	0	0	-1,215
14	0	0	1,215
15	0	0	0

Перевірку однорідності отриманих даних проводився за формулою (2) [4; 5]:

$$S_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{m-1} \quad (2)$$

Для перевірки гіпотези про однорідність оцінок дисперсій користувалися критерієм Кохрена, який визначається за формулою (3) [4; 5]:

$$G_{\max} = \frac{S_{u\max}^2}{\sum_{n=1}^N S_u^2} \quad (3)$$

Після реалізації експерименту здійснено статистичне опрацювання результатів, яке полягає в отриманні коефіцієнтів регресії математичної моделі й оцінці її адекватності дослідницькому процесу. Відомо, що один із факторів більше впливає на зміну стану системи, ніж інший [4]. Отже, на основі результатів досліджень була поставлена мета — визначити коефіцієнти регресії, провести оцінку їх значимості і перевірити адекватність отриманої моделі.

Коефіцієнти рівняння регресії розраховували за формулами (4) і (5) [4; 5].

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_{in} \cdot y_n}{N}; \quad (4)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{in} \cdot x_{jn} \cdot y_n}{N} \quad (5)$$

Коефіцієнти рівняння регресії вважаються значущими, якщо виконується така нерівність:

$$t_{ip} > t_{\text{табл.}}$$

де t_{ip} — розрахунковий критерій Стюдента; $t_{табл}$ — табличне значення критерію Стюдента.

Провели розрахунок критерію Стюдента для кожного з коефіцієнтів регресії за формулою (6) [4; 5]:

$$t_{ip} = \frac{b_i}{S_{b_i}} \tag{6}$$

Перевірку адекватності рівняння регресії проводять за критерієм Фішера. Дисперсію адекватності розраховували за формулою (7) [4; 5]:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (\bar{y}_n - y_n)^2}{f} \tag{7}$$

Перевірку адекватності рівняння проводять за формулою (8) [4; 5]:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2} \tag{8}$$

Результати експерименту представлені в табл. 3.

Таблиця 3.

	Усп		(Усп-У) ²		Ур		(Ур-Усп) ²	
1	960	980	920	920	3200	901,6667	336,1455	
2	440	440	440	440	0	342,9083	9426,796	
3	960	960	960	966,6666	266,6666	1055,013	7805,155	
4	500	500	440	480	2400	496,2560	264,2589	
5	880	920	640	680	3200	675,1058	23,95294	
6	1760	1840	1820	1806,6666	3466,6666	1809,681	9,030686	
7	680	1040	980	966,6666	13066,666	1028,453	3817,62	
8	2020	2040	2120	2060	5600	1963,029	9403,283	
9	1960	1920	1900	1926,6666	1866,6666	1766,909	25522,43	
10	1880	1880	1960	1906,6666	4266,6666	1995,218	7841,513	
11	1360	1340	1340	1346,6666	266,6666	1405,989	3519,178	
12	1680	1680	1700	1686,6666	266,6666	1582,906	6903,781	
13	620	600	700	640	5600	611,9947	784,8537	
14	1480	1480	1520	1493,3333	1066,6666	1486,914	41,20169	
15	1760	1840	1880	1806,6666	7466,6666	1681,064	2959,082	
Сума					52000	60859,34		
					Σn = 3466,667	Σm = 10082,29		

t_0	1891,06411227	Рассчитанный студент
b_1	9546,250686	5,291019378
b_2	76,673644473	4,309699108
b_3	969,651962072	20,23794877
b_{12}		0,960768922
b_{13}	273,203032903	17,93435322
b_{23}		1,521217461
b_{11}		0,428067960
b_{22}	250,711267900	9,176401650
b_{33}	567,33657026	19,98142968

Табличный Студент: 4,3

Рассчитанный Фишер: 1,90635314806

Посчитать коэф. Показать план

Отже, для коефіцієнтів b_{12} , b_{23} , b_{11} умова не виконується, тобто коефіцієнти необхідно вважати несуттєвими [4; 5]. Рівняння регресії в кодованому вигляді набуло вигляду:

$$y = 1881,064 + 93,955 x_1 + 76,674 x_2 + 360,053 x_3 + 20 x_1 x_2 + 373,333 x_1 x_3 + 31,667 x_2 x_3 + 12,069 x_1^2 - 258,711 x_2^2 - 563,339 x_3^2.$$

На рис. 3, 4, 5 відображені отримані поверхні. Лінії рівня побудовані відповідно до рівняння регресії.

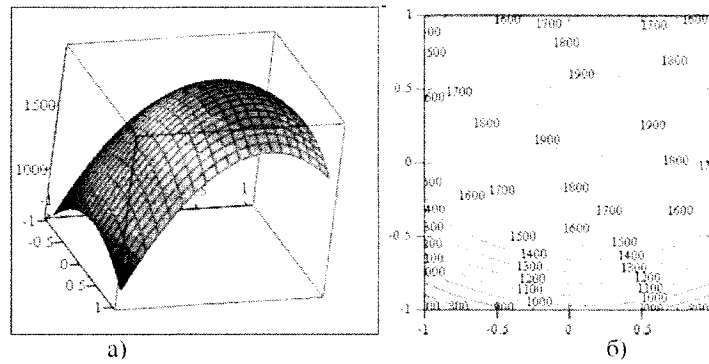


Рис. 3. Вплив температури і вологості рослинної біомаси на теплотворну здатність синтез-газу: а) графік поверхні; б) графік контура

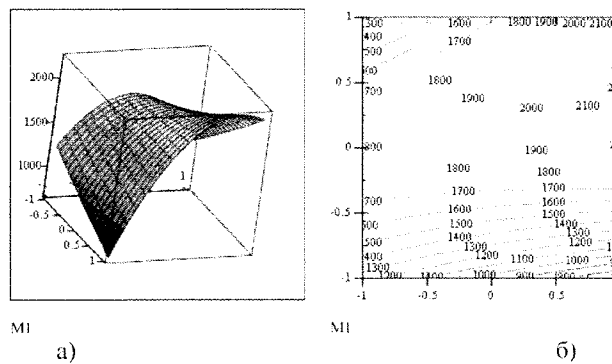


Рис. 4. Вплив температури і гранулометричного складу рослинної біомаси на теплотворну здатність синтез-газу: а) графік поверхні; б) графік контура

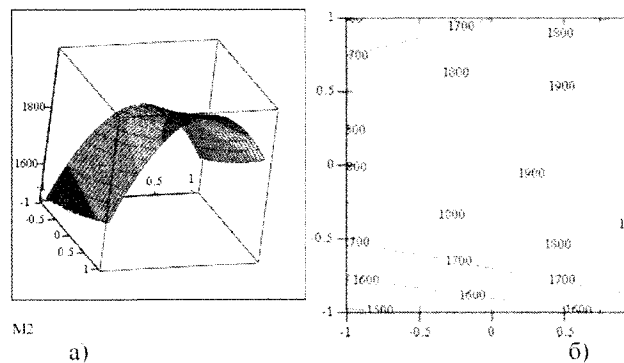


Рис. 5. Вплив гранулометричного складу і вологості рослинної біомаси на теплотворну здатність синтез-газу: а) графік поверхні; б) графік контура

п
р
д
с
р
А
На
Це
пр
де
ни
ком
лен
ора
ки
і
тор
суц
тел
Клік
газ.

Висновки. Доведено адекватність рівняння регресії процесу газифікації рослинної біомаси, оскільки виконується умова $F_p < F_r$, тому що $2,908 < 3,01$.

З аналізу експериментальних даних роботи газогенераторної установки випливає, що на теплотворну здатність синтез-газу істотний вплив мають обрані керовані показники. Зокрема, істотно впливає передусім вологість рослинної сировини і температура в зоні горіння. Тому для підвищення ефективності роботи газогенератора доцільно проводити попередню сушку вихідної сировини високотемпературними продуктами згорання газу на виході з енергетичного устаткування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анискин В.И. Перспективы использования растительных отходов в качестве биотоплив / В.И. Анискин, А.В. Голубкович // Теплоэнергетика. — 2004. — № 5. — С. 60—65.
2. Ясеневський В. Відновлювальна енергетика XXI століття / В. Ясеневський, В. Клименко // Новини агротехніки. — 2007. — № 5. — С. 38—39
3. Налимов В.Н. Логические основания планирования эксперимента: учебник Е.А. Шальгина / В.Н. Налимов; 2-е изд. — М. : Колос, 2001. — 236 с.
4. Планирование эксперимента — Режим доступа : http://opds.sut.ru/electronic_manuals/pe/f053.htm.
5. Спирина Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекции Н.А. Спирина / Н.А. Спирина, В.В. Лавров. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ — УПИ, 2004. — 257 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ

А. Осьмак, А. Серегин

Национальный университет пищевых технологий

Целью проведенной работы было установление оптимальных параметров процесса газификации растительной биомассы (лузга подсолнечника). Проведен системный анализ технологической схемы для утилизации отходов органического происхождения с помощью газогенерационного энергетического комплекса. Оптимизацию технологического процесса газификации осуществлено путем разработки параметрической схемы центральной подсистемы, организации полного факторного эксперимента и статистической обработки результатов. Из анализа экспериментальных данных работы газогенераторной установки следует, что на теплотворную способность синтез-газа существенное влияние имеют управляемые показатели: влажность растительного сырья и температура в зоне горения.

Ключевые слова: газификация, растительная биомасса, оптимизация, синтез-газ.