

Теплогенерация

Топливо и его горение

1. Общая характеристика топлива

Топливом называются горючие вещества, служащие источником тепла. Прежде чем использовать горючее вещество в качестве топлива, необходимо установить, что оно отвечает следующим требованиям:

- 1) запасы его велики и доступны для добычи;
- 2) продукты сгорания легко транспортируются из зоны горения и безвредны для окружающей среды;
- 3) легко загорается и содержит небольшое количество негорючих примесей (в частности, воды и золы);
- 4) процесс горения легко управляем

По происхождению топливо подразделяется на естественное и искусственное. Последнее является продуктом переработки естественного топлива. По агрегатному состоянию топливо делится на твердое (кусковое, пылевидное), жидкое и газообразное. Агрегатное состояние топлива определяет способы его хранения, транспортировки и сжигания.

В табл. 18-1 приведена общая классификация топлива.

Состав топлива

Топливо, сжигаемое в промышленных печах, называется рабочим топливом. Горючими органическими элементами рабочего топлива является: углерод C^P , водород H^P и летучая сера S_d^P . Кроме горючих элементов рабочее топливо содержит негорючие органические элементы — кислород O^P и азот N^P , входящие в состав топлива в виде сложных высокомолекулярных соединений, а также негорючие минеральные примеси, образующие после сгорания топлива золу A^P и влагу W^P .

Если отобрать пробу твердого или жидкого рабочего топлива и исследовать ее в химической лаборатории, определив элементарный химический состав, то получим следующее равенство:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_d^P + A^P + W^P = 100\%. \quad (18-1)$$

Общая классификация топлива

Агрегатное состояние	Естественное топливо	Искусственное топливо
Твердое	Древесина, торф, бурые угли, каменные угли, антрацит, горючие сланцы	Каменноугольный кокс, полукокс, древесный уголь, термоантрацит, брикеты, пылеугольное топливо
Жидкое	Нефть	Бензин, керосин, лигроин, реактивное топливо, дизельное топливо, мазут и др.
Газообразное	Природный газ	Коксовый, доменный, генераторные газы и др.

2. Естественное топливо

2.1. Твёрдое топливо

- Плотная порода чёрного, иногда серо-чёрного цвета. Блеск смоляной или металлический. В органическом веществе каменного угля содержится 75—92 % углерода, 2,5—5,7 % водорода, 1,5—15 % кислорода. Содержит 2—48 % летучих веществ. Влажность 1—12 %. Высшая теплота сгорания в пересчёте на сухое беззольное состояние 30,5—36,8 МДж/кг. Каменный уголь относится к гумолитам; сапропелиты и гумитосапропелиты присутствуют в виде линз и небольших слоёв.



- **Бу́рый уголь** (лигнит) — твёрдый ископаемый уголь , образовавшийся из торфа, содержит 65—70 % углерода, имеет **бу́рый** цвет, наиболее молодой из ископаемых **углей**. Используется как местное топливо, а также как химическое сырьё.



- Ка́менный уго́ль — твёрдое горючее полезное ископаемое, промежуточная по содержанию углерода форма угля между бурым углём и антрацитом.
- Плотная порода чёрного, иногда серо-чёрного цвета. Блеск смоляной или металлический. В органическом веществе каменного угля содержится 75—92 % углерода, 2,5—5,7 % водорода, 1,5—15 % кислорода. Содержит 2—48 % летучих веществ. Влажность 1—12 %. Высшая теплота сгорания в пересчёте на сухое беззольное состояние 30,5—36,8 МДж/кг. Каменный уголь относится к гумолитам; сапропелиты и гумитосапропелиты присутствуют в виде линз и небольших слоёв.



- Антрацит (от лат. anthracites, из др.-греч. ἄνθραξ «уголь; карбункул») — самый древний из ископаемых углей, уголь наиболее высокой степени углефикации (метаморфизма)[1].
- Лучший сорт каменного угля, отличающийся чёрным цветом, сильным блеском, большой теплотворной способностью[2].
- От других видов угля антрацит отличается высоким содержанием связанного углерода (91-98 %), низким содержанием влаги, серы, летучих веществ, высокой удельной теплотой сгорания. Антрацит горит быстро, без дыма и пламени, с высокой теплоотдачей, не спекается. Обладает высокой плотностью органической массы (1500—1700 кг/м³) и высокой электропроводностью. Твёрдость по минералогической шкале 2,0-2,5[5].



- Горючий сланец — полезное ископаемое из группы твёрдых каустобиолитов, дающее при сухой перегонке значительное количество смолы, близкой по составу к нефти (керогеновой или сланцевой нефти).
- Горючий сланец состоит из преобладающих минеральных (кальцит, доломит, гидрослюда, монтмориллонит, каолинит, полевые шпаты, кварц, пирит и др.) и органических частей (кероген), последняя составляет 10—30 % от массы породы и только в сланцах самого высокого качества достигает 50—70 %. Органическая часть является био- и геохимически преобразованным веществом простейших водорослей, сохранившим клеточное строение (талломоальгинит) или потерявшим его (коллоальгинит); в виде примеси в органической части присутствуют изменённые остатки высших растений (витринит, фюзенит, липоидинит).



2.2. Жидкое топливо

Нефть (из тур. *neft*, от перс. *نفت*, *naft*[9]) — природная маслянистая горючая жидкость со специфическим запахом, состоящая в основном из сложной смеси углеводородов различной молекулярной массы и некоторых других химических соединений. Относится к каустобиолитам[10] (ископаемое топливо[11]).

Мировой запас около 1208 (2007 г.) или 1199,71 (2011) млрд баррелей

Потребление около 85,6 (2007 г.), 87,36 (2011 г.) млн баррелей в день => около 32 млрд баррелей в год



2.3. Газообразное топливо

Основную часть природного газа составляет метан (CH_4) — от 70 до 98 %.

В состав природного газа могут входить более тяжёлые углеводороды — гомологи метана[1]:

этан (C_2H_6),
пропан (C_3H_8),
бутан (C_4H_{10}),
пентан (C_5H_{12}).

Природный газ содержит также другие вещества, не являющиеся углеводородами:

водород (H_2),
сероводород (H_2S),
углекислый газ (CO_2)[1],
азот (N_2)[1],
гелий (He) и другие инертные газы.



3. Искусственное ТОПЛИВО

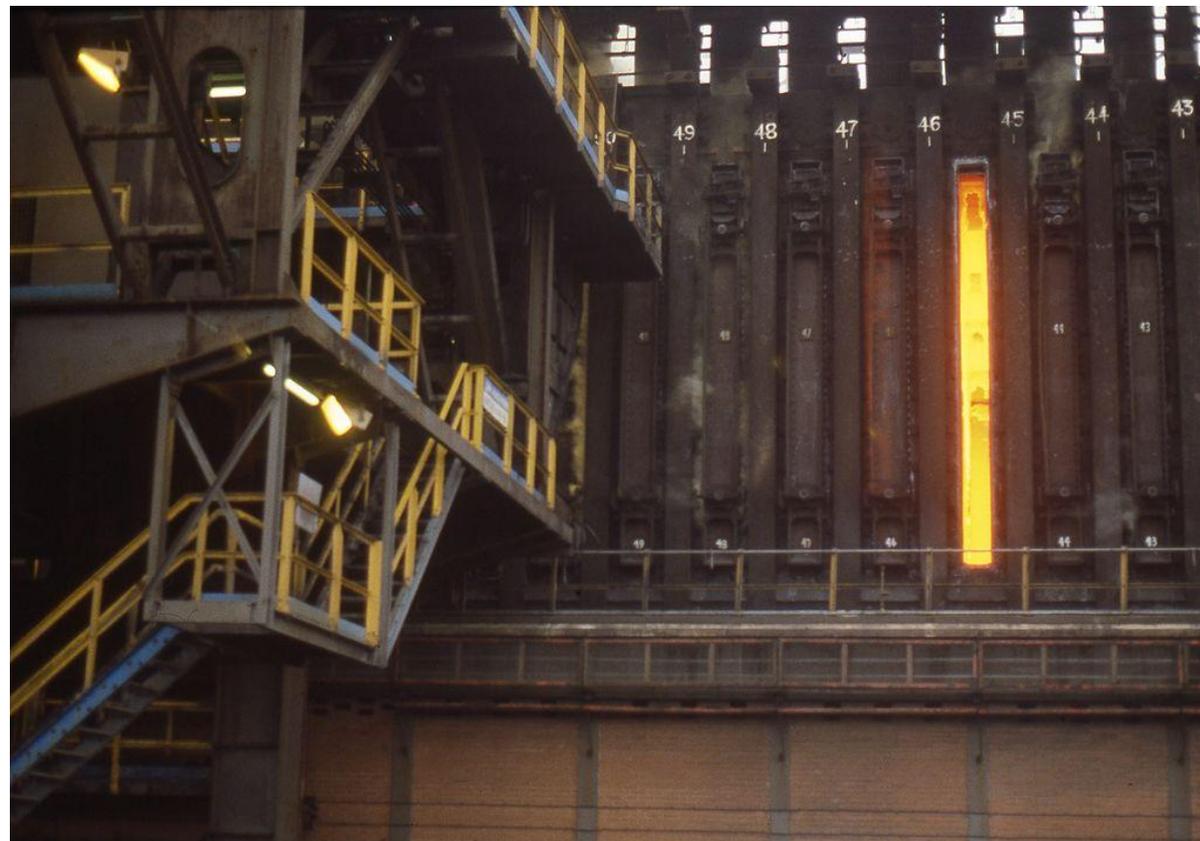
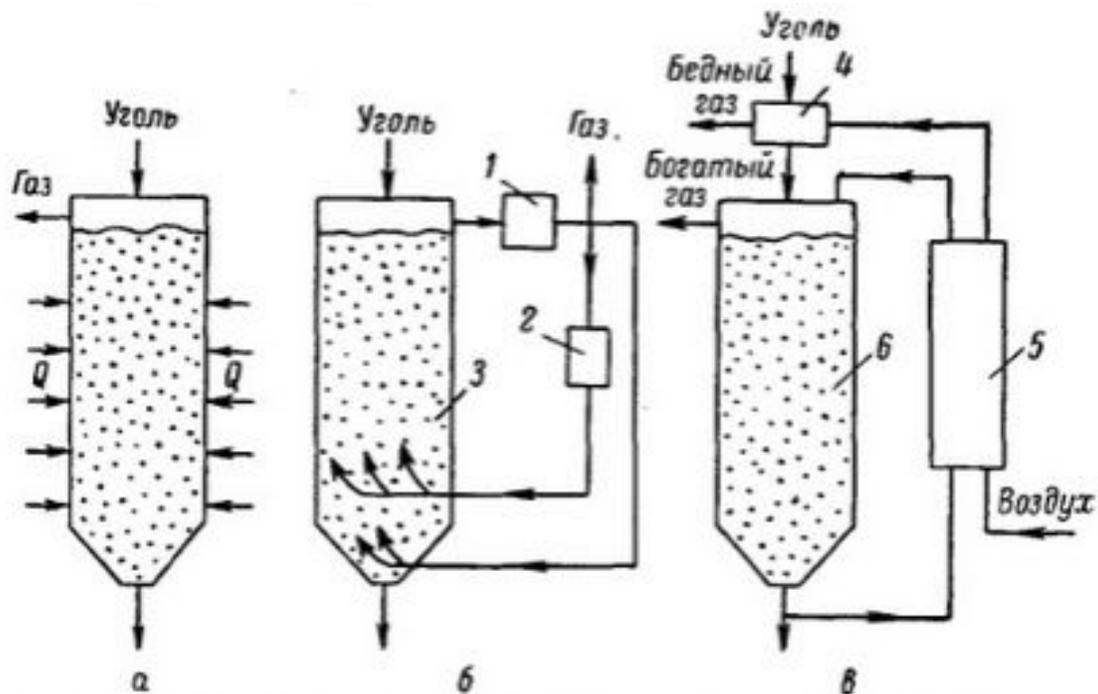
3.1. Твёрдое топливо

- Кокс каменноугольный (или кокс танглоске) – твердый пористый продукт серого цвета, получаемый путём коксования каменного угля при температурах 950—1100°С без доступа кислорода.

Элемент	Содержание, %
C	96-98
H, S, N, O	Остальное



Полукоксование — способ переработки твёрдых топлив (каменного и бурого углей, сланцев, торфа) нагреванием без доступа воздуха до 500—550 °С (температура приблизительно вдвое ниже, чем при коксовании). При полукоксовании получают твёрдый горючий остаток — полукокс и летучие продукты. Полукокс используют как легко загорающееся бездымное твёрдое топливо в промышленности и быту.



- Древесный уголь — микропористый высокоуглеродистый продукт, образующийся при пиролизе древесины без доступа воздуха. Уголь горит при температуре, превышающей 1100 °С. Готовый уголь состоит в основном из углерода. Преимущество использования древесного угля вместо обычного сжигания древесины заключается в отсутствии воды и других компонентов. Это позволяет древесному углю гореть при более высоких температурах и выделять очень мало дыма (обычная древесина выделяет большое количество пара, органических летучих веществ и несгоревших частиц углерода).



- Термоантрацит является главным компонентом электродной массы самообжигающихся электродов руднотермических печей. Термоантрацит получают обжигом антрацита, осуществляемым с целью улучшения физико-механических свойств, повышения термической стойкости, уменьшения электрического сопротивления и реакционной способности, повышения плотности структуры (увеличение исти...

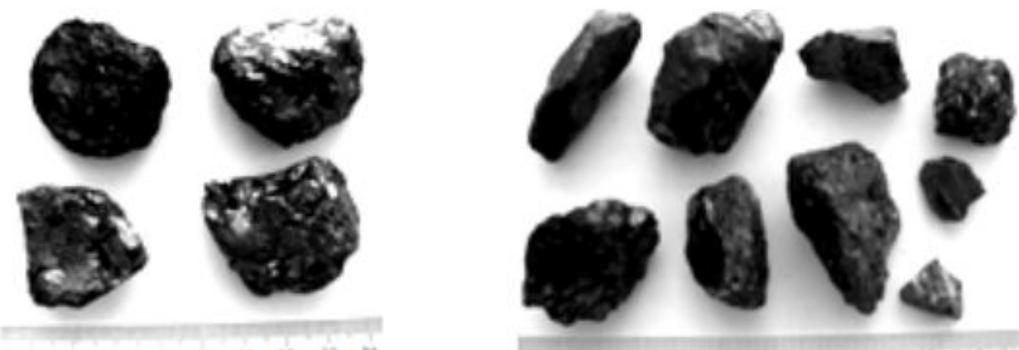


Рис. 2 – Фото антрацита (слева) и термоантрацита (справа)

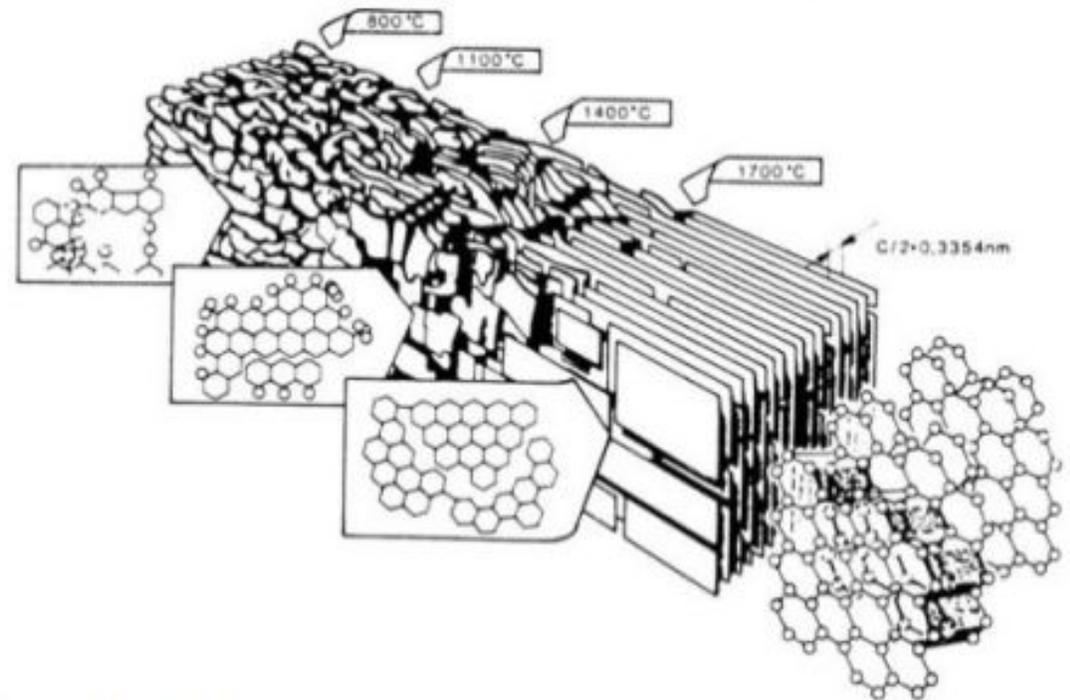


Рис. 1 – Общая схема последовательности структурных превращений антрацита с образованием графита [5, 6]

3.2. Жидкое топливо

Бензи́н — горючая смесь лёгких углеводородов с температурой кипения от +33 до 205 °С (в зависимости от примесей). Плотность около 0,71 г/см³. Теплотворная способность примерно 10 200 ккал/кг (46 МДж/кг, 32,7 МДж/литр). Температура замерзания –60 °С в случае использования специальных присадок. Долгое время бензин получали путём ректификации (перегонки) и отбора фракций нефти, выкипающих в определённых температурных пределах (**до 100 °С — бензин I сорта, до 110 °С — бензин специальный, до 130 °С — бензин II сорта**).

Керосин (англ. kerosene фр. kerosine от др.-греч. κηρός — «воск») — горючая смесь жидких углеводородов (от C8 до C15) с температурой кипения в **интервале 150—250 °С**, прозрачная, бесцветная (или слегка желтоватая), слегка маслянистая на ощупь, получаемая путём прямой перегонки или ректификации нефти.

Мазу́т — жидкий продукт тёмно-коричневого, иногда чёрного, цвета, остаток после выделения из нефти или продуктов её вторичной переработки бензиновых, керосиновых и газойлевых фракций, выкипающих **до 350—360 °С**.



3.3. Газообразное топливо

Коксовый газ — горючий газ, образующийся в процессе коксования каменного угля, то есть при нагревании его без доступа воздуха до 900—1100 °С.

Состав угольного газа может изменяться в зависимости от вида угля и температуры карбонизации. Типичные показатели:

водорода 51 %
метана 34 %
оксида углерода 10 %
этилена 5 %

Доменный газ — отходы в виде газа, образующиеся во время выплавки чугуна в доменных печах. Продукт неполного сгорания углерода и других химических реакций. Химический состав доменного газа может колебаться в широких пределах.

Состав доменного газа, %

	Плавка на каменноугольном коксе	Плавка на древесном угле
Углекислый газ CO ₂	4—16	9—15
Оксид углерода CO	34—25	29—25
Метан CH ₄	0—0,4	1—2
Водород H ₂	1—3	4—10
Азот N ₂	56—59	50—54

Водяной газ (синтез-газ) — газовая смесь, содержащая оксид углерода(II) CO и молекулярный водород H₂.

Получают генераторный газ путём пропускания воздуха над раскалённым каменным углём или коксом в специальных печах — газогенераторах (КПД процесса 65—70 %). Выход из кокса 4,65 м³/кг. Далее оксид углерода смешивается с водяным паром, и получается водородная составляющая генераторного газа:

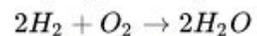


Теплотворная способность генераторного газа составляет 800—1000 ккал/м³, причём замена воздуха на кислород при его получении ведёт к значительному увеличению доли оксида углерода и, соответственно, к увеличению теплотворной способности.

Генераторный газ применяется как топливо в металлургической, стекольной, керамической промышленности, для двигателей внутреннего сгорания, а также для синтеза аммиака.

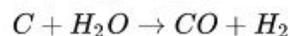
Газогенератор — устройство для преобразования твёрдого или жидкого топлива в газообразную форму. Наиболее распространены газогенераторы, работающие на дровах, древесном угле, каменном угле, буром угле, коксе и топливных пеллетах. Газогенераторы, использующие в качестве топлива мазут и другие виды жидкого топлива, применяются значительно реже.

В газогенераторе протекает несколько основных химических реакций. При горении с обедненным количеством кислорода (пиролиз) протекают реакции окисления угля и углеводородов:



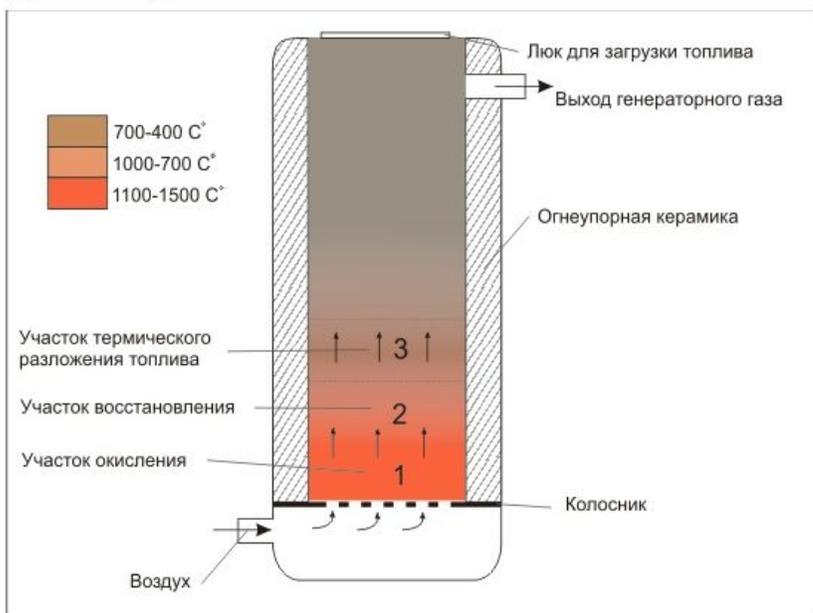
с выделением теплов...

После чего реакции восстановления:



с потреблением тепловой энергии

Прямой процесс



Преимущество прямого процесса — простота исполнения. Недостаток — большое содержание влаги и смол. Данный недостаток можно устранить, используя очищенное топливо: древесный уголь или кокс.



Процесс газификации проходит в аппарате, называемом газогенератором (рис. 18-2). Газогенератор представляет собой металлическую шахту 4, футерованную внутри огнеупорным кирпичом. Нижняя часть шахты 7 называется фартуком. Она соединена с пароводяной рубашкой 5 и погружается в металлическую вращающуюся чашу 9, которая во время работы заполняется водой, образующей гидрозатвор, который отключает внутреннее пространство газогенератора от окружающего воздуха. К чаше жестко прикреплена колосниковая решетка 6, с помощью которой поступающее в генератор дутье распределяется по его сечению. Топливо в газогенератор загружают сверху через загрузочное устройство 3.

Образующиеся в процессе газификации зола и шлаки при вращении чаши автоматически удаляются шлаковым ножом 8. В процессе работы газогенератора топливо непрерывно опускается вниз, а сверху все время загружаются новые порции. Образующийся генераторный газ собирается в надслоевом пространстве и отводится через патрубок 1. Для наблюдения за процессом и разравнивания слоя топлива служит отверстие 2.

По характеру протекающих процессов в газогенераторе различают пять зон: *I* — подсушки топлива; *II* — сухой перегонки; *III* — восстановления; *IV* — кислородная зона; *V* — зона шлака. Первые две зоны образуют зону подготовки топлива, а вторые две — зону газификации. Последняя зона играет важную роль в работе генератора. С одной стороны отработавшие шлаки защищают колосниковую решетку от воздействия высоких температур кислородной зоны. С другой стороны дутье, поступающее в генератор через трубопровод 10, филь-

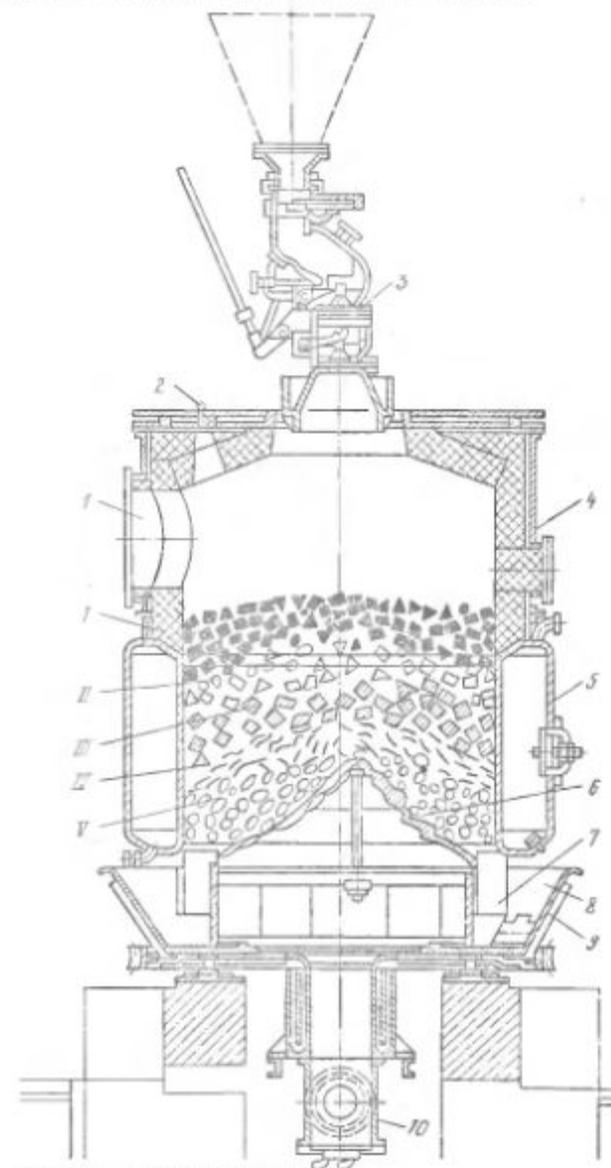


Рис. 18-2. Газовый генератор