

Н.Г. Юдушкин

Газогенераторные трактора
Теория, конструкция и расчет

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 621.3
ББК 31.352
Н11

Н11 **Н.Г. Юдушкин**
Газогенераторные трактора: Теория, конструкция и расчет / Н.Г. Юдушкин – М.: Книга по Требованию, 2021. – 252 с.
ISBN 978-5-458-49428-1

ISBN 978-5-458-49428-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно увеличивающийся тракторный и автомобильный парк потребляет большое количество жидкого топлива. В связи с тем, что добыча и переработка нефти сосредоточены в немногих районах страны, для снабжения отдельных районов топливом необходимы дальние перевозки. Поэтому использование местного топлива имеет очень важное значение для народного хозяйства.

Превращение твердого топлива в газ, сгорающий в смеси с воздухом в двигателе внутреннего сгорания и выделяющий при этом тепловую энергию, трансформируемую в механическую, можно осуществлять в особых аппаратах, называемых газогенераторами. В газогенераторах может быть использовано твердое топливо различных видов.

В сельском хозяйстве большое значение имеет использование в газогенераторных тракторах разнообразных местных топлив: древесины, торфобрикетов, полукочка (продукта переработки каменного угля), антрацита и др.

В лесной промышленности получили большое распространение газогенераторные автомобили и тракторы, работающие на газе из древесины.

В Советском Союзе газогенераторные установки начали применяться прежде всего на автомобилях. Однако в дальнейшем развитие конструкций газогенераторных установок как тракторных, так и автомобильных шло параллельно.

Первые опытные конструкции газогенераторных автомобилей появились в 1923—1928 гг.

Большие заслуги в деле развития конструкций газогенераторных автомобилей и тракторов принадлежат проф. В. С. Наумову, проф. В. П. Карпову и изобретателю С. И. Декаленкову.

В последующие годы производство газогенераторных автомобилей и тракторов было возложено на автотракторную промышленность. Автомобильной и тракторной промышленностью и НАТИ был создан ряд конструкций газогенераторов для тракторов и автомобилей.

Организация пробегов газогенераторных автомобилей ГАЗ-42 и ЗИС-21 в 1934—1938 гг., а также сравнительные испытания ряда конструкций газогенераторных установок на тракторах в лесной промышленности в 1935—1939 гг. и в сельском хозяйстве в 1936—1938 гг. способствовали совершенствованию конструкции

газогенераторных тракторов и автомобилей и популяризации идеи использования твердого топлива для работы автотракторного парка.

В последние годы на Ленинградском Кировском заводе было организовано производство газогенераторных трелевочных тракторов КТ-12. Газогенераторная установка этого трактора имеет общую схему и ряд однотипных узлов с газогенераторной установкой трактора ХТЗ-Т2Г.

В дальнейшем производство тракторов КТ-12 было перенесено на Минский тракторный завод.

В 1952 г. было организовано производство нового газогенераторного трактора ГБ-58 на базе дизельного трактора ДТ-54. В этом тракторе повышена мощность двигателя, облегчен пуск двигателя на газе, для разжига топлива в газогенераторе применен вентилятор, детали, работающие при высокой температуре, сделаны сменными, кроме того, улучшена очистка газа. Срок службы камеры газификации увеличен до 2000 час.

Трактор ГБ-58 работает с тем же комплектом сельскохозяйственных орудий, что и трактор ДТ-54, и по производительности приближается к нему.

В последнее время расширен ассортимент топлив, используемых в газогенераторных тракторах. Так, в газогенераторе трактора ГБ-58 наряду с древесным топливом можно газифицировать торфобрикеты. Разрешена одна из важнейших задач — газификация влажных топлив путем удаления избыточной влаги из бункера газогенератора. В системе очистки газа, помимо значительного улучшения конструкции центробежных очистителей, нашли применение фильтры новых типов с большей поверхностью межфазового контакта; появились газопромыватели с механическим приводом.

ОСНОВЫ ГАЗИФИКАЦИИ И КИНЕТИКИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПРОЦЕССЕ ГАЗИФИКАЦИИ

Преобразование твердого топлива в генераторный газ совершается при высокой температуре; при этом углерод топлива взаимодействует с кислородом воздуха и водяным паром. Данный процесс называется газификацией.

Аппараты, служащие для получения генераторного газа, называются газогенераторами.

В зависимости от свойств топлива и назначения газа газификация производится в различных по схеме и устройству газогенераторах.

Топливо в процессе газификации подвергается различным физико-химическим изменениям при нагреве и взаимодействии с окислительной и восстановительной средой.

При получении газа из твердого топлива различают четыре стадии изменения топлива:

- а) испарение гигроскопической влаги при сушке;
- б) сухая перегонка вследствие термического распада органической массы топлива при нагреве;
- в) горение углерода коксового остатка;
- г) газификация коксового остатка.

Каждая из этих стадий имеет большое значение в процессе газификации.

При газификации древесины и торфа, содержащих большое количество гигроскопической влаги, топливо подвергается сушке при температуре 105—150°.

Выделение летучих из топлива происходит при нагреве от 150 до 600°.

Термический распад органической массы топлива при сухой перегонке сопровождается выделением смол, спиртов, кислот и других продуктов. Точка росы смол равна 20—30°, поэтому возможна их конденсация в газопроводах до двигателя или после смешения газа с воздухом в смесителе и впускном трубопроводе вследствие понижения температуры газо-воздушной смеси.

При выпадении сконденсировавшихся углеводородов на них осаждается пыль, вследствие чего сужаются проходные сечения газопроводов и нарушается работа органов распределения двигателя.

Слабые растворы кислот (уксусной, муравьиной и др.), выделяющихся при сухой перегонке топлива, вызывают коррозию стальных деталей.

В силовом газе для двигателей внутреннего сгорания не допускается содержание смолистых веществ более $0,5 \text{ г/нм}^3$.

Для того чтобы обеспечить нормальную работу газогенераторной установки и двигателя, необходимо разложить в газогенераторе продукты сухой перегонки на элементарные неконденсирующиеся при атмосферных условиях газы: CO , CO_2 , H_2 и др. Этого достигают пропусканием продуктов возгонки летучих через раскаленный до $800\text{--}1000^\circ$ коксовый остаток из данного топлива.

Горение углерода коксового остатка происходит при взаимодействии с кислородом воздуха, поступающего в газогенератор. Так как при окислении углерода температура повышается до $1300\text{--}1500^\circ$, то для снижения ее при газификации тощих топлив (антрацит и др.) вместе с воздухом в газогенератор вводят водяной пар.

Газификация битуминозных топлив, содержащих в рабочем состоянии значительное количество влаги, осуществляется без дополнительного ввода водяного пара с воздухом, так как поступающий в зону окисления (при обратном процессе газификации) водяной пар вместе с продуктами сухой перегонки понижает температуру горения.

Физическое тепло продуктов реакции горения углерода — CO_2 , CO и перегретого в окислительной зоне водяного пара — передается углю в восстановительной зоне, в которой протекают реакции восстановления CO_2 в CO и разложения водяного пара.

Скорости реакций восстановления CO_2 и разложения H_2O зависят от целого ряда физико-химических факторов, подробно освещенных в последующих главах.

Характеристика газов, входящих в состав генераторного газа, а также воздуха, водяного пара и углерода, дана в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика газов, воздуха, водяного пара и углерода

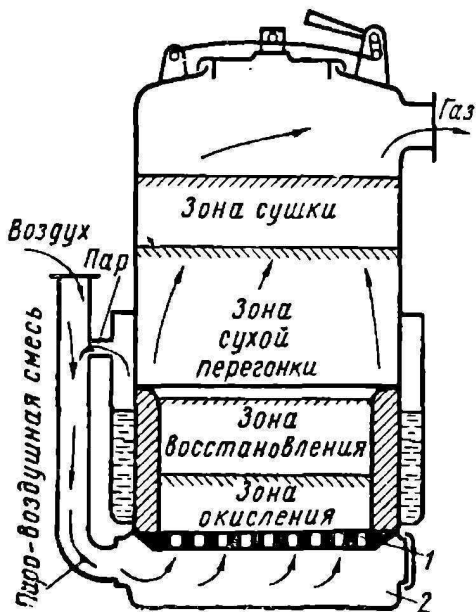
Наименование вещества	Символ или формула	Молекулярный вес	Удельный вес при 0°C и 760 мм рт. ст. в кг/м^3
Углерод	C	12,011	0,5360
Кислород	O_2	32,000	1,4290
Углекислота	CO_2	44,011	1,9770
Окись углерода	CO	28,011	1,2500
Метан	CH_4	16,043	0,7170
Этан	C_2H_6	30,070	1,3560
Водород	H_2	2,016	0,0899
Водяной пар	H_2O	18,016	0,8040
Азот	N_2	28,016	1,2500
Воздух	—	28,953	1,2930
Сероводород	H_2S	34,082	1,5390
Сернистый ангидрид	SO_2	64,066	2,9270

Как указывалось выше, большое количество летучих имеют битуминозные топлива.

Топлива, имеющие малое содержание летучих, относятся к тощим.

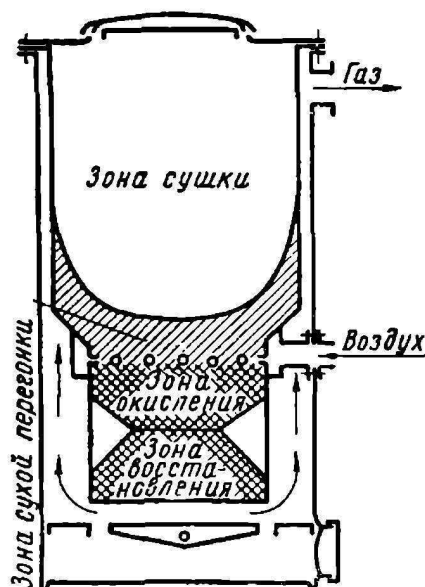
В зависимости от указанных выше свойств топлив для получения силового генераторного газа, используемого для питания двигателей внутреннего сгорания, применяют два основных процесса газификации: прямой или противоточный процесс для тощих топлив и обратный или прямоточный процесс для битуминозных топлив.

При прямом процессе газификации топливо и воздух в смеси с водяным паром движутся навстречу один другому. Схема этого процесса газификации изображена на фиг. 1.



Фиг. 1. Схема прямого процесса газификации:

1 — колосниковая решетка; 2 — зольник.



Фиг. 2. Схема обратного процесса газификации.

В этом случае топливо, заполняющее газогенератор, опускается вниз по мере выгорания коксового остатка на колосниковой решетке, а через колосниковую решетку снизу подводится паро-воздушная смесь. Газы, образовавшиеся в окислительной зоне, поднимаются вверх, нагревают лежащие выше слои топлива, реагируют с углеродом топлива в восстановительной зоне и выходят из газогенератора после прохождения всего слоя топлива или части его. Отбор газа из середины слоя применяют для топлив, содержащих небольшое количество летучих, чтобы разложить их в слое кокса, нагретом до температуры $800-900^{\circ}$, через который летучие проходят перед выходом из газогенератора.

Газогенераторы с прямым процессом газификации и отбором газа в середине слоя называются газогенераторами с разложением смол. Так как количество тепла, выделяющееся в нижнем слое топлива в зоне горения, обычно всегда больше, чем необходимо для подсушки и нагрева топлива до температуры воспламенения, то

прямой процесс называется также процессом газификации с неограниченным воспламенением.

Этот процесс применяют для использования в одном газогенераторе двух-трех видов тощих топлив с содержанием летучих от 2 до 12%.

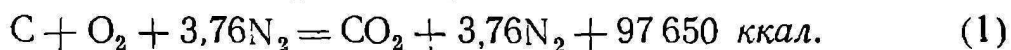
Схема обратного, или прямоточного, процесса газификации показана на фиг. 2. Этот процесс получил широкое распространение в транспортных газогенераторных установках. В данном случае воздух поступает в середину слоя топлива, а образовавшиеся газы опускаются вниз и проходят через слой раскаленного угля. При этом происходит разложение смолистых веществ, кислот, спиртов и других продуктов сухой перегонки топлива, выделяющихся из топлива в слое, расположенном над окислительной зоной.

В транспортных газогенераторных установках получил также некоторое распространение так называемый горизонтальный (поперечный) процесс газификации. Он отличается от описанных выше процессов тем, что поток продуктов газификации проходит поперек опускающегося вниз топлива. Продукты сухой перегонки частично примешиваются при этом к генераторному газу в конце зоны газификации перед выходом из газогенератора.

В транспортных газогенераторных установках вырабатывается воздушный и паро-воздушный (смешанный) генераторный газ.

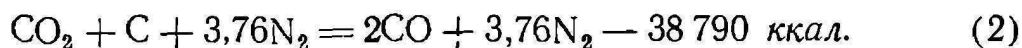
При теоретическом рассмотрении процесса газификации для получения воздушного газа принимают, что реакция протекает между чистым углеродом и кислородом воздуха.

В окислительной зоне протекает реакция получения углекислоты:



В этом случае количество тепла, выделяющегося при реакции, отнесено к 1 молю. Коэффициент $3,76 = \frac{79}{21}$ означает количество молей азота в воздухе на 1 моль кислорода.

Вследствие выделения большого количества тепла продукты горения нагревают следующие по ходу газа слои угля, где происходит реакция восстановления CO_2 с поглощением тепла по уравнению



Суммарный результат реакции получения воздушного газа может быть выражен следующим уравнением:



В идеальном случае образовавшийся газ будет состоять из 34,7% CO и 65,3% N_2 . Теплотворность идеального воздушного газа составляет 1060 ккал/нм^3 .

При получении воздушного газа значительное количество тепла ($58\,860 \text{ ккал/моль}$) остается неиспользованным в эндотермических химических реакциях, вследствие чего газ нагревается до высокой температуры.

По теоретическому тепловому расчету (без учета внешних потерь газогенератора и при пользовании спектроскопическими данными по теплоемкости CO и N₂ при постоянном давлении) температура газа, выходящего из газогенератора, получается равной приблизительно 1330°.

Условным к. п. д. газогенератора η_2 называется отношение количества тепла, заключенного в газе, к количеству тепла в топливе, израсходованном на получение данного количества газа, т. е.

$$\eta_2 = \frac{v_2 Q_n^z}{Q_n^m}, \quad (4)$$

где v_2 — выход газа на 1 кг топлива в нм^3 ;

Q_n^z — низшая теплотворность газа в ккал/нм^3 ;

Q_n^m — низшая теплотворность топлива в ккал/кг .

Для рассмотренного идеального случая газификации без потерь топлива выход газа можно определить по следующему уравнению:

$$v_2 = \frac{22,4 \cdot 100}{12x} = \frac{1,867 \cdot 100}{x}, \quad (5)$$

где 22,4 — объем 1 моля газа в нм^3 ;

12 — молекулярный вес углерода;

x — содержание CO в газе в %.

Как уже указывалось выше, для идеального воздушного газа $x = 34,7\%$; следовательно,

$$v_2 = \frac{1,867 \cdot 100}{34,7} = 5,38 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

Если принять, что теплотворность чистого углерода $Q_n^m = 8137 \text{ ккал/кг}$, то по уравнению (4) условный к. п. д.

$$\eta_2 = \frac{5,38 \cdot 1060}{8137} \approx 0,70.$$

Таким образом, в данном процессе не используется 30% тепла топлива; газ выходит из газогенератора с высокой температурой и имеет небольшую теплотворность.

В приведенных расчетах не учитывались тепловые потери, так как процесс рассматривался как идеальный.

В действительных условиях восстановление CO₂ в CO происходит неполностью вследствие понижения температуры в восстановительной зоне и уменьшения концентрации углерода из-за наличия в рабочем топливе влаги и золы. Температура в зоне горения снижается в результате значительных потерь тепла на излучение и перегрев водяного пара.

В действительных условиях показатели, характеризующие процесс, имеют следующие значения: $Q_n^z \approx 1000 \text{ ккал/нм}^3$; $v_2 \approx 4,8 \div 5 \text{ нм}^3/\text{кг}$; $\eta_2 \approx 0,60$.

Температура выходящего газа равна 900—1000°.

Равновесный состав воздушного газа приведен в табл. 2.

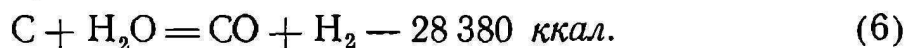
Равновесный состав воздушного газа (в % по объему)

Температура в °С	CO ₂	CO	N ₂	$\frac{CO}{CO_2 + CO} \cdot 100$
650	10,8	16,9	72,3	61,0
800	1,6	31,9	66,5	95,2
900	0,4	34,1	65,5	98,8
1000	0,2	34,4	65,4	99,4

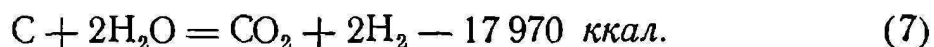
Все это показывает, что экономичность процесса получения воздушного газа сравнительно невелика и значительная часть тепла остается неиспользованной.

Избыточное тепло может быть использовано для получения горючих газов при разложении водяного пара.

Между углеродом и водяным паром может протекать следующая эндотермическая реакция:



При увеличении концентрации водяного пара возможно протекание и другой реакции его с углеродом:

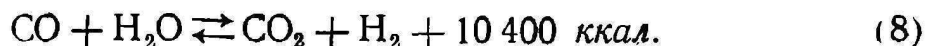


Для получения водяного газа подачу воздуха и водяного пара в газогенератор производят поочередно. Образующийся при этом воздушный газ отводится отдельно и не смешивается с водяным газом. Таким способом достигается получение высококалорийного водяного газа, который в идеальном случае состоит из 50% CO и 50% H₂.

Теплотворность водяного газа составляет 2810 ккал/нм³, к. п. д. газогенератора водяного газа 60—65%. Этот способ широко применяют в стационарных газогенераторах; для транспортных газогенераторов его не применяют вследствие большой сложности конструкции таких газогенераторов и необходимости выбрасывания в окружающую среду значительного количества воздушного газа.

В транспортных газогенераторах получают смешанный газ при подаче в газогенератор паро-воздушной смеси. При этом избыток тепла используется для разложения пара по уравнениям (6) и (7). Ряд исследователей указывает, что реакции (2), (6) и (7) протекают в восстановительной зоне одновременно.

Конечный состав газа определяется равновесным состоянием реакции



Стрелки указывают в данном выражении, что эта реакция обратима, т. е. при одних условиях она может протекать слева направо, а при других справа налево.

Условия течения и равновесия реакций изучает физическая химия. Некоторые сведения из этой области будут приведены ниже.

В идеальном случае, когда все свободное тепло после восстановления CO_2 будет использовано для разложения водяного пара, при ведении смешанного процесса газификации на паро-воздушном дутье достигается повышение теплотворности газа.

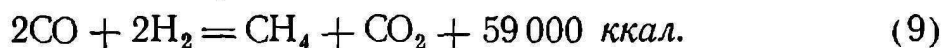
Количество разложенного водяного пара может быть определено из отношения располагаемого количества тепла и необходимого для образования CO и H_2

$$\frac{58\ 860}{28\ 380} \approx 2,07 \text{ моля.}$$

Состав полученного газа (называемого иногда полуводяным) в идеальном случае будет следующий (в молях): $4,07 \text{ CO} + 2,07 \text{ H}_2 + 3,76 \text{ N}_2$ или 41,1% CO , 20,9% H_2 и 38% N_2 . Теплотворность такого газа равна 1793 ккал/нм^3 . Количество разложенного пара составляет 0,76 кг на 1 кг углерода. В действительных условиях нельзя разложить такое количество пара и достичь, следовательно, такой теплотворности газа, так как реакция между углеродом и паром не может протекать при температуре ниже определенной.

Как указывалось выше, восстановление CO_2 также происходит неполностью из-за потери тепла в окружающую среду. Все эти причины приводят к тому, что количество разлагаемого пара уменьшается до 0,4—0,6 кг на 1 кг углерода, теплотворность газа понижается до 1200—1400 ккал/нм^3 , а температура выходящего газа повышается до 300—400°.

Необходимо отметить, что в процессе газификации возможно образование метана по уравнению



Эта реакция протекает при температуре 700—800°.

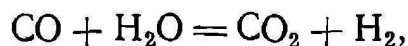
ОСНОВЫ КИНЕТИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ ГАЗИФИКАЦИИ

Для понимания факторов, влияющих на ход реакций, необходимо ознакомиться с основными понятиями и законами кинетики химических реакций, а также с применением первого и второго законов термодинамики, на основе которых определяются тепловые эффекты реакции. Развитие теории активации, учения о теплообмене и диффузии позволило уточнить на основе кинетической теории газов влияние основных факторов, определяющих скорости реакций.

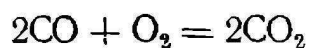
Виды реакций

Различают два вида реакций. Реакции, происходящие между веществами, находящимися в одинаковом агрегатном состоянии в газовой фазе, называются гомогенными. Реакции между веществами, различными по своим агрегатным состояниям, из которых одно является газом, а другое твердым телом, называются гетерогенными.

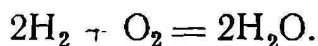
К гомогенным реакциям относится происходящая в газовой фазе реакция между окисью углерода и водяным паром



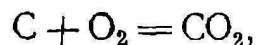
а также реакции сгорания окиси углерода и водорода:



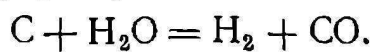
и



К гетерогенным реакциям относится реакция между углеродом и кислородом



а также реакция между углеродом и водяным паром



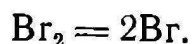
Порядок реакции

Порядок реакции определяется в зависимости от количества веществ, участвующих в реакции и исчисляемых в молях. Если в реакции изменяется только один вид молекул, то такая реакция называется мономолекулярной или реакцией первого порядка. Стехиометрический коэффициент реакции первого порядка равен единице¹.

В общем виде реакция первого порядка может быть схематически записана следующим уравнением:



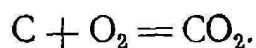
К реакциям первого порядка относятся такие, при которых происходит распад вещества на более простые молекулы, например реакция



К реакциям бимолекулярным или реакциям второго порядка относятся те, в которых участвуют два различных вида молекул или две молекулы одного вида. Схематически реакции второго порядка могут быть выражены уравнением



При этом продуктом реакции будут вещества, образованные в результате соединения реагирующих молекул или обмена атомами. Первые реакции называются реакциями соединения, а вторые — реакциями обмена. К реакциям соединения относится, например, реакция образования CO_2 :



¹ Стехиометрический коэффициент реакции характеризует количество молекул, принимающих участие в реакции.