

А. С. Шыбека

ГАЗАЗАБЕСПЯЧЭННЕ

Вучэбны дапаможнік

Мінск
«Колорград»
2022

УДК [621.64+696.2](075.8)

ББК 38.763я73

III98

Рэкамендаваны да выдання
саветам факультэта энергетычнага будаўніцтва БНТУ
(пратакол ад 24 лютага 2022 г. № 6)

Рэцэнзенты:

кафедра «Цеплагавадазабеспячэнне і вентыляцыя»
УА «Полацкі дзяржаўны ўніверсітэт»
(загадчык кафедры канд. тэхн. навук *Ю. В. Вішнякова*);
намеснік міністра энергетыкі Рэспублікі Беларусь
канд. тэхн. навук, дацэнт *Д. Р. Мароз*

Шыбека, А. С.

III98 Газабеспячэнне : вучэбны дапаможнік / А. С. Шыбека. –
Мінск : Колорград, 2022. – 436 с.
ISBN 978-985-896-181-7.

Разгледжаны праектаванне, разлік і эксплуатацыя сістэм газабеспячэння населеных пунктаў і спажывцоў рознымі відамі гаручых газаў. Дадзены звесткі пра абсталяванне, якое выкарыстоўваецца ў газаразмеркавальных сістэмах. Разгледжаны тэорыя гарэння і канструкцыі асноўных тыпаў гарэлак. Прыведзены прыклады разліку.

Для студэнтаў спецыяльнасці «Цеплагазабеспячэнне, вентыляцыя і ахова паветранага басейна» ўстаноў вышэйшай адукацыі. Будзе карысны навучэнцам устаноў сярэдняй спецыяльнай адукацыі, магістрантам, аспірантам, супрацоўнікам газабеспячэнскіх і праектных арганізацый.

УДК [621.64+696.2](075.8)

ББК 38.763я73

ISBN 978-985-896-181-7

© Шыбека А. С., 2022

© Афармленне. ТАА «Колорград», 2022

Умоўныя абазначэнні

- A – сярэднеквадратычны перапад ціску, МПа²/км;
 α – каэфіцыент тэмператураправоднасці, м²/с;
 B – утрыманне баластных прымесей;
 c_p – удзельная ізабарная масавая цеплаёмкасць, кДж/(кг·К);
 c'_p – удзельная ізабарная аб'ёмная цеплаёмкасць, кДж/(м³·К);
 D – парадукцыйнасць, т/г;
 D_i – каэфіцыент Джоўля – Томсана, К/МПа;
 d – вільгацеўтрыманне, г/кг сухога паветра; дыяметр, мм або м;
 E – удзельная энергія, кДж/м³;
 F – плошча, м², га;
 f – абсалютная вільготнасць, кг/м³; забяспечанасць жылой плошчай, м²/чал.;
 G – масавы расход асяроддзя, кг/г;
 g – масавая канцэнтрацыя кампанента, %; паскарэнне свабоднага падзення, м/с²;
 H – энтальпія, Дж;
 h – вышыня, м; вертыкальная адзнака, м; удзельная энтальпія, кДж/кг;
 $\bar{h}_i$ – удзельная энтальпія 1 м³ газу, кДж/м³;
 k – каэфіцыент цеплаперадачы, Вт/(м²·К); паказчык адыябаты; характарыстыка сеткі, Па/(м³/г)²;
 k_v – прапуская здольнасць, м³/г;
 $k_{эв}$ – эквівалентная шурпатаць, мм;
 L – мяжа ўзгарання, % аб.;
 l – даўжыня, м або км;
 M – малярная маса рэчыва, кг/моль;
 m – маса, кг;
 n – колькасць рэчыва, моль;
 Q – удзельная аб'ёмная цеплата згарання, кДж/м³; колькасць цеплаты, кДж;
 Q' – удзельная масавая цеплата згарання, кДж/кг;
 $P = p + P_{атм}$ – абсалютны ціск, Па, кПа або МПа;
 p – залішні (манаметрычны ці вакуумметрычны) ціск, Па, кПа або МПа;
 R – радыус гнутця, м; удзельная газавая пастаянная, Дж/(кг·К); удзельныя страты ціску на трэнне, Па/м; цеплавое напружанне, Вт/м²;
 $R_M = 8,3145$ Дж/(моль·К) – універсальная газавая пастаянная;
 r – мольная доля кампанента газавай сумесі, %; радыус, м; схаваная ўдзельная цеплата параўтварэння, кДж/кг;
 s – адносная шчыльнасць газу па паветры; удзельная энтрапія, кДж/(кг·К); шаг адтулін, м або мм;
 T – абсалютная тэмпература, К;
 t – тэмпература па шкале Цэльсія, °С;
 u – каэфіцыент эжэжцыі; скорасць полымя, м/с;
 V – аб'ём, м³; аб'ёмны расход газу, м³/г або м³/год;
 $\bar{V}$ – адносная колькасць, м³/м³;

v – удзельны аб’ём, м³/кг;
 W – цеплавая магутнасць (нагрузка) і цеплапрадукцыйнасць прыбора, кВт;
 гадавая норма расходу цеплаты, кДж/год на адзінку спажывання;
 холодапрадукцыйнасць, кВт;
 w – скорасць, м/с;
 x – мольная доля кампанента сумесі вадкасцей, %;
 y – аб’ёмная канцэнтрацыя, %;
 z – каэфіцыент сіскальнасці; працягласць, суткі;
 α – каэфіцыент расходу паветра; каэфіцыент адносіні пучывога і транзітнага
 расходу; каэфіцыент цеплаабмену, Вт/(м²·К); максімальная дапушчальная
 перагрузка аграгата;
 β – адносіны мінімальнага расходу ў сетцы да максімальнага;
 δ – памылка, %; таўшчыня сценкі газаводу, мм;
 η – каэфіцыент карыснага дзеяння, % або долі;
 λ – каэфіцыент цеплаправоднасці, Вт/(м·К); каэфіцыент трэння (Дарсі);
 μ – дынамічны каэфіцыент вязкасці, Па·с; каэфіцыент расходу;
 ν – кінематычны каэфіцыент вязкасці, м²/с;
 π – прыведзены ціск;
 ρ – шчыльнасць, кг/м³;
 σ – нявязка, %;
 τ – прыведзеная тэмпература; час, с, г або суткі;
 φ – адносная вільготнасць, %.

Індэксy

0 – які адносіцца да нармальных умоў; *max* – максімальны; *min* – мінімальны;
ав – аварыйны; *аг* – аграгат; *агул* – агульны; *ад* – адначасовасць; *адв* – адвод; *адг* –
 адгалінаванне; *адр* – адрыў; *адт* – адтуліна; *апт* – аптымальны; *атм* –
 атмасферны; *ац* – ацяпляльны; *б* – балон; *буд* – будынак; *в* – верхні, вышэйшы,
 вонкавы; *вад* – вадкасць, вадкі; *вент* – вентыляцыйны; *віль* – вільготны; *выб* –
 выбух; *выд* – выдаляемы; *вых* – выхад; *г* – гадзінны, газ; газавод; *гар* – гарэлка,
 гарэнне, гарлавіна; *г.в* – гарачае водазабеспячэнне; *год* – гадавы; *гр* – графік; *дад* –
 дадатковы; *дап* – дапушчальны; *дыф* – дыфузар; *ж* – жарапрадукцыйнасць;
жыл – жыллёвы, жылы; *з* – зададзены; *заб* – забяспечанасць; *зв* – звужэнне; *зл* –
 зліў; *зм* – змешванне; *із* – ізаляцыя; *к* – каларыметрычны, канечны; кацёл, контур;
кал – калектар, калонка; *кан* – канфузар; *кар* – карысны; *кв* – квартал; *кр* –
 крытычны; *лч* – лічальнік; *мес* – месячны; *м.с* – мясцовае супраціўленне; *н* –
 нагрэў, ніжэйшы, нармальны, наяўны; *нав* – навакольны; *нам* – намінальны; *нас* –
 насадка, насычэнне; *нераўн* – нераўнамернасць; *п* – паліва, пара, пучывы; *пав* –
 паверхня, паветра; *паш* – пашырэнне; *п.в* – пажыўная вада; *пат* – паток; *патр* –
 патрэбны; *пач* – пачатковы; *пр* – праскок, праход, прыбор; *пр.зг* – прадукты
 згараання; *р* – разліковы, раўнамерны; *разр* – разрэджванне; *рез* – рэзервуар; *с* –
 сапло, сетка, ствол, сухі; *сапр* – сапраўдны; *спр* – спрацоўванне; *ст* – стандартны;
стр – струмень; *сум* – сумесь; *сут* – сутачны; *сяр* – сярэдні; *т* – тунэль,
 турбулентны, тэарэтычны; *тр* – транзітны, труба, трэнне; *у* – умоўны; *ув* – уваход;

удз – удзельны; *ун* – унутраны; *у.п* – умоўнае паліва; *уст* – устаноўка; *уч* – участак; *ц* – цыстэрна; *ф* – факел, фактычны, фільтр; *физ* – фізічны; *хім* – хімічны.

Абрэвіатуры

DN – намінальны дыяметр;
MRS – мінімальная працяглая трываласць, МПа;
PN – намінальны ціск, МПа;
АГРС – аўтаматычная газаразмеркавальная станцыя;
ВКІ – вадзакрышталічны індэкатар;
ГДК – гранічна дапушчальная канцэнтрацыя;
ГІС – геаінфармацыйныя сістэмы;
ГНП (ГНС) – газанапаўняльны пункт (станцыя);
ГПА – газаперапамповачны аграгат;
ГРП (ГРПШ, ГРПБ) – газарэгулятарны пункт (шафавы, блочны);
ГРС – газаразмеркавальная станцыя;
ГРУ – газарэгулятарная ўстаноўка;
ДРЭС – дзяржаўная раённая электрастанцыя;
ЗВГ – звадкаваны вуглевадародныя газы;
ЗЗК – засцерагальны запорны клапан;
ЗСП (ЗСК) – засцерагальнае скідное прыстасаванне (клапан);
ЗПГ – звадкаваны прыродны газ;
КВП – кантрольна-вымяральныя прыборы;
ККД – каэфіцыент карыснага дзеяння;
КС – кампрэсарная станцыя;
МГ – магістральны газавод;
МЭА – Міжнароднае энергетычнае агенцтва;
ПРГ – пункт рэдукавання газу;
ПРГП – падземны пункт рэдукавання газу;
ПСТ – падземнае сховішча газу;
РБ – Рэспубліка Беларусь;
РФ – Расійская Федэрацыя;
РЦ – рэгулятар ціску;
САК – сістэма аўтаматызаванага кіравання;
СКА – станцыя катодная аховы;
ТНПА – тэхнічны нарматыўна-прававы акт;
ЦЭС – цеплавая электрастанцыя;
ЦЭЦ – цеплаэлектрацэнтраль;
ЭРС – электрарухальная сіла.

ПРАДМОВА

Дысцыпліна «Газабезбеспячэнне» з'яўляецца адной з профільных дысцыплін пры падрыхтоўцы спецыялістаў па цеплагазабезпачэнні і вентыляцыі. Дысцыпліна грунтуецца на такіх асноўных для інжынера курсах, як вышэйшая матэматыка, тэхнічная фізіка, механіка вадкасці і газу, тэхнічная тэрмадынаміка, хімія.

Курс газабезбеспячэння ўмоўна можна раздзяліць на дзве часткі, якія выкладаюцца ў розных семестрах. У першай праводзіцца азнаямленне з уласцівасцямі гаручых газаў і сумесей; спосабамі здабычы (для прыродных) ці вытворчасці (для штучных), апрацоўкі і транспарту газу да спажыву; асноўнымі элементамі сістэм газаразмеркавання, разлікам сетак і падборам абсталявання. Другая частка дае ўяўленне пра забеспячэнне спажыву звадкаванымі вуглевадароднымі газамі; працэсы гарэння газападобнага паліва і канструкцыю гарэлак; а таксама пра эксплуатацыю сістэм газаразмеркавання і газаспажывання.

У вучэбным дапаможніку выкладаюцца асноўныя пытанні тэорыі, канстрування і разлікаў сетак газаразмеркавання і газаспажывання з улікам сучасных дасягненняў у гэтых галінах. Пры напісанні кнігі аўтар не ставіў перад сабой задачу ўсеагульнага ахопу ўсіх прылад і прыбораў, якія выкарыстоўваюцца ў газабезбеспячэнні, бо іх развіццё ідзе вельмі хуткімі тэмпамі. Задача вучэбнага дапаможніка – даць агульнае ўяўленне і неабходную тэарэтычную базу, на якіх будзе грунтавацца далейшае пашырэнне і паглыбленне ведаў студэнтаў, магістрантаў, інжынераў. З мэтай палягчэння разумення метадаў разліку прыводзяцца падрабязныя прыклады і неабходныя дапаможныя матэрыялы.

Аўтар выказвае падзяку Я. В. Булуху; кандыдату тэхнічных навук, дацэнту М. А. Руткоўскаму; кандыдату тэхнічных навук, дацэнту Л. У. Борухавай; А. А. Гаўрышаву; А. К. Курбанмурадаву; А. А. Мартыненку; Я. А. Эйдэльману і многім іншым за падтрымку падчас напісання кнігі. Вялікая ўдзячнасць рэцэнзентам – кафедры «Цеплагазабезпачэнне і вентыляцыя» УА «Полацкі дзяржаўны ўніверсітэт» (загадчык кафедры кандыдат тэхнічных навук Ю. В. Вішнякова) і кандыдату тэхнічных навук, дацэнту В. В. Булаху асабіста; намесніку міністра энергетыкі Рэспублікі Беларусь (на момант напісання і рэцэнзавання – дырэктару дзяржаўнага прадпрыемства «НДІ Белгіпрапалівагаз») кандыдату тэхнічных навук, дацэнту Д. Р. Марозу – за заўвагі, якія палепшылі якасць дадзенага дапаможніка.

УВОДЗІНЫ

Закон Рэспублікі Беларусь «Аб газаабеспячэнні» дае наступнае азначэнне тэрміна «газаабеспячэнне»: гэта адна з формаў энэргаабеспячэння, якая ўяўляе сабой дзейнасць па забеспячэнні спажывцоў газам (прыродным, нафたавым, адбензіненым сухім, звадкаваным нафたавым). Э. Х. Адэльскі [10] прыводзіць наступнае азначэнне: газаабеспячэнне – складаны комплекс самастойных і разам з тым узаемазвязаных тэхнічных прыстасаванняў па здабычы натуральнага ці вытворчасці штучнага гаручага газу для выкарыстання яго ў якасці хімічнай сыравіны і паліва прамысловымі, бытавымі і камунальнымі спажывцамі.

Да пераваг выкарыстання газу ў параўнанні з цвёрдым і вадкім палівам можна аднесці:

- магчымасць поўнага спальвання з малым лішкам паветра з дасягненнем высокай тэмпературы ў камеры спальвання для дасягнення высокага цеплавога каэфіцыента карыснага дзеяння;

- лёгкасць запальвання пры любой тэмпературы навакольнага паветра, а таксама спынення гарэння;

- прастату транспарціроўкі да спажывцоў;

- утварэнне меншай колькасці шкодных злучэнняў, сажы, дыму;

- прастату аўтаматызацыі працэсу гарэння.

Асноўнымі недахопамі з'яўляюцца выбухова- і пажаранебяспечнасць; адсутнасць натуральнага паху, што перашкаджае хуткаму выяўленню ўцечкі; удушлівае ўздзеянне на чалавека.

БР (шматнацыянальная нафтагазавая кампанія, раней British Petroleum) у статыстычным аглядзе сусветнай энэргетыкі за 2019 год ацэньвае сусветныя запасы прыроднага газу на канец 2018 года ў 196,9 трлн м³, якія размяркоўваюцца наступным чынам:

- Паўночная Амерыка – 13,9 трлн м³ (7,1 % ад сусветных);

- Цэнтральная і Паўднёвая Амерыка – 8,2 трлн м³ (4,2 %);

- Еўропа (за выключэннем Беларусі і Расіі) – 3,9 трлн м³ (2,0 %);

- краіны СНД (за выключэннем Украіны) – 62,8 трлн м³ (31,9 %), з іх на долю Расійскай Федэрацыі прыходзіцца 38,9 трлн м³, ці 19,8 % ад сусветных запасаў;

- Сярэдні Усход – 75,5 трлн м³ (38,4 %), з іх на долю Ірана прыходзіцца 31,9 трлн м³ (16,2 % ад сусветных), Саудаўскай Аравіі – 24,7 трлн м³ (12,5 %);

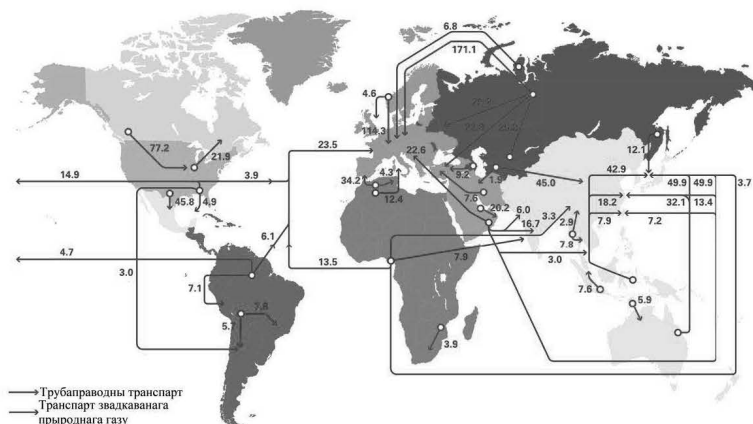
- Афрыка – 14,4 трлн м³ (7,3 %);

- Азіяцка-Ціхаакіянскі рэгіён – 18,1 трлн м³ (9,2 %).

Агульны аб'ём экспарту складае 1236,4 млрд м³, з іх 805,4 млрд м³ (65,1 %) транспартуецца па трубаправодах, а 431,0 млрд м³ (34,9 %) – у выглядзе звадкаванага прыроднага газу. Сусветныя гандлёвыя патокі прыведзены на мал. 1.

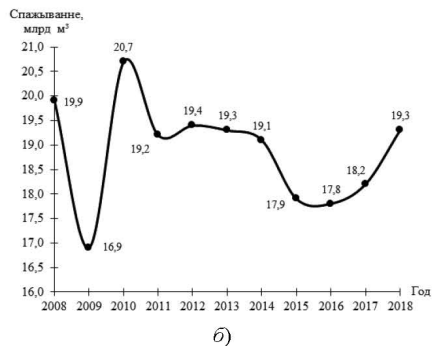
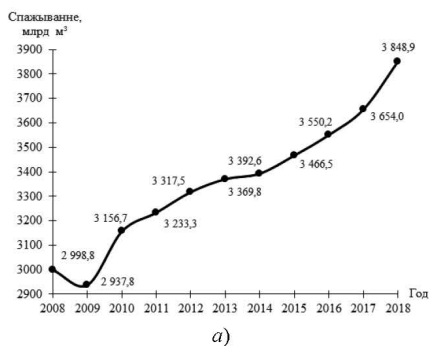
Найбуйнейшым радовішчам прыроднага газу з'яўляецца Паўночнае ці Паўднёвы Парс, размешчанае на тэрыторыі Катар і Ірана (запасы ацэньваюцца ў 35 трлн м³). Другім па велічыні з'яўляецца Урэнгойскае радовішча, размешчанае ў Ямала-Ненецкай аўтаномнай акрузе Расійскай Федэрацыі. Агульныя пачатковыя запасы ацэньваліся ў 10,9 трлн м³, на дадзены момант – 6,3 трлн м³. На тэрыторыі Беларусі ў асноўным здабываецца спадарожны прыродны газ з нафたавых

радовішчаў, размешчаных у раёне Прыпяцкага прагіну. Здабыча пачалася ў 1965 годзе; па даных дзяржаўнага вытворчага аб'яднання «Беларуснафта», на дадзены момант здабыта каля 15,2 млрд м³ спадарожнага газу. Да прыкладу, спажыванне прыроднага газу ў Беларусі ў 2019 годзе склала 19,3 млрд м³.



Малюнак 1. Схема сусветных гандлёвых патокаў прыроднага газу (лічбы паказваюць аб'ём транспартуемага газу) згодна з данымі ВР

Сусветнае спажыванне газу паступова расце (мал. 2) і ў 2018 годзе дасягнула 3848,9 млрд м³, з іх 26,6 % прыходзіцца на краіны Еўропы (уключаючы Беларусь і Расію), 26,4 % – на краіны Паўночнай Амерыкі, 21,4 % – на краіны Азіяцка-Ціхаакіянскага рэгіёну.



Мал. 2. Дынаміка спажывання газу (даняы ВР):
а) – усяго па свеце, б) – Беларусію

Газ мае важнае становішча ў энергетыцы Рэспублікі Беларусь. Згодна з данымі Нацыянальнага статыстычнага камітэта, на долю прыроднага газу ў 2019 годзе прыходзілася 96,9 % электрычнай і 79,5 % цеплавой энергіі, вырабленай у краіне. У параўнанні з 1990 годам доля вырасла: 52,1 % электрычнай і 36,5 % цеплавой энергіі выпрацоўвалася тады на аснове прыроднага газу.

Структура спажывання прыроднага газу, па даных Нацыянальнага статыстычнага камітэта за 2019 год, мае выгляд:

- 1) пераўтварэнне ў электрычную і цеплавую энергію – 72,2 %;
- 2) перапрацоўка ў іншыя віды паліва – 0,3 %;
- 3) страты газу – 0,2 %;
- 4) адпущана насельніцтву – 9,2 %;
- 5) канечнае спажыванне галінамі гаспадаркі – 18,1 %, у тым ліку:
 - у якасці сыравіны на вытворчасць хімічнай, нафтахімічнай і іншай няпаліўнай прадукцыі – 8,2 %;
 - апрацоўчай прамысловасцю – 6,4 %;
 - транспартам – 2,4 %;
 - сельскай, лясной і рыбнай гаспадаркай – 0,7 %;
 - астатнімі галінамі гаспадаркі – 0,4 %.

Гісторыя забеспячэння прыродным газам Беларусі пачынаецца з канца 50-х гадоў мінулага стагоддзя з будаўніцтва магістральнага газавода «Дашава – Івацэвічы – Мінск» (працягласць 660 км), пущанага ў эксплуатацыю ў 1960 годзе. У 1974 годзе была ўведзена ў эксплуатацыю першая нітка магістральнага газавода «Таржок – Мінск – Івацэвічы» працягласцю 453 км, якая пастаўляе прыродны газ з радовішчаў на поўначы Расіі (другая нітка ўведзена ў 1978 годзе, трэцяя – у 1983 годзе.). Гэта паслужыла пачаткам масавай газіфікацыі рэспублікі. На дадзены момант на тэрыторыі РБ размешчаны:

- 7 магістральных газаводаў;
- 7 газавымяральных станцый;
- 226 газаразмеркавальных станцый;
- 3 падземныя сховішчы газу (Асіповіцкае, Прыбугскае і Мазырскае).

Паводле даных ДВА «Белпалівагаз», на 1 студзеня 2021 года прыродным газам газіфікаваны ўсе раённыя цэнтры (118); усе гарады (115); усе пасёлкі гарадскога, рабочага і курортнага тыпу (85); 900 аграгарадкоў, 3448 (з 23 065) сельскіх населеных пунктаў. Працягласць сетак прыроднага газу складае 64 495,9 км. Газіфікавана прыродным газам 2 967 009 кватэр, звадкаваным – 673 742 кватэры. Спажыванні прыроднага газу з’яўляюцца больш за 2,4 тыс. прамысловых і каля 6,4 тыс. камунальна-бытавых прадпрыемстваў.

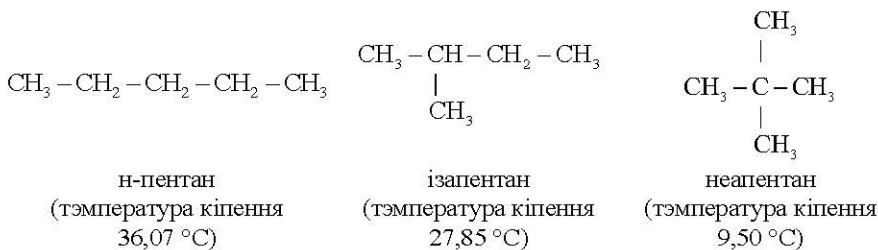
1. ГАЗАПАДОБНАЕ ПАЛІВА

1.1. Гаручыя і негаручыя газы. Прымесі

Да гаручых газаў адносяцца гранічныя і негранічныя вуглевадароды, вадарод і аксід вугляроду.

Гранічныя (насычаныя) *вуглевадароды* (алканы, парафіны) маюць агульную формулу C_nH_{2n+2} : метан CH_4 , этан C_2H_6 , прапан C_3H_8 , бутан C_4H_{10} , пентан C_5H_{12} і г. д. Алканы характарызуюцца высокай цеплатой згарання, адсутнасцю паху, колеру, таксічным уздзеяннем на чалавека, аднак пры высокіх канцэнтрацыях ніжэйшыя насычаныя вуглевадароды (да дэкану $C_{10}H_{22}$) могуць выклікаць слабае наркатычнае ўздзеянне, пры канцэнтрацыі ў паветры памяшкання звыш 10 % выклікаюць удушша з-за недахопу кіслароду. Метан, этан, прапан і бутан пры нармальных умовах з'яўляюцца газамі, пачынаючы ад пентану і заканчваючы трыдэканам $C_{13}H_{28}$ – вадкасцямі, астатнія – цвёрдымі рэчывамі. Найбольш доўгім ланцугом характарызуецца сінтэзаваны ў 1985 годзе наонаконтатрытан $C_{390}H_{782}$. Для аліфатычных (якія не змяшчаюць араматычных злучэнняў) гранічных вуглевадародаў CH_4 – $C_{10}H_{22}$ гранічна дапушчальная канцэнтрацыя (ГДК) складае 300 мг/м³.

Пачынаючы ад бутану, парафіны пры адной і той жа колькасці атамаў вугляроду могуць існаваць у некалькіх мадыфікацыях, якія называюцца ізамерамі, у залежнасці ад узаемнага размяшчэння і (ці) злучэння атамаў вугляроду. Напрыклад, для пентану могуць існаваць тры ізамеры, якія называюцца н-пентан, ізапентан (2-метылбутан) і неапентан (2,2-дыметылпрапан). Хімічная формула ў іх аднолькавая – C_5H_{12} , аднак будова і ўласцівасці розныя. Структурныя формулы дадзеных злучэнняў маюць наступны выгляд



Негранічныя вуглевадароды (алкены, алефіны) з хімічнай формулай C_nH_{2n} : этылен C_2H_4 , прапілен C_3H_6 і бутылен C_4H_8 . Іх уласцівасці блізкія да ўласцівасцей алканаў. ГДК – 100 мг/м³.

Вадарод H_2 не мае паху, колеру і смаку, нетаксічны, выбухованебяспечны.

Монааксід вугляроду (чадны газ) CO – газ без колеру і паху, вельмі таксічны (ГДК у паветры рабочай зоны – 20 мг/м³, у атмасферным – 5 мг/м³). Можа ўтварацца пры няпоўным згаранні паліва. Пры ўдыханні CO ўтварае ў крыві карбоксігемаглабін, больш трывалае злучэнне, чым оксігемаглабін (злучэнне