

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ І СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
КАФЕДРА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МАТЕМАТИКИ І ПРОГРАМУВАННЯ

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до виконання курсових робіт  
з навчальної дисципліни  
«ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ПРОГРАМУВАННЯ»  
для студентів напряму підготовки :  
6.050601 «Теплоенергетика»

Протокол засідання  
кафедри обчислювальної  
математики і програмування  
№ 8 від 26 квітня 2011р.

Затверджено на засіданні учбово-  
методичної ради Донецького  
національного технічного  
університету  
Протокол № 4 від 10 червня 2011р.

Донецьк ДонНТУ 2011

**УДК 681.3.06 (071)**

**Методичні рекомендації** до виконання курсових робіт з навчальної дисципліни «Основи інформаційних технологій і програмування» (для студентів напряму підготовки : 6.050601 "Теплоенергетика")/ Укл.:  
О.М.Копитова, С.В.Грідін., Л.В. Славінська – Донецьк: ДонНТУ, 2011.- 72с.

Викладено мету і завдання курсової роботи, порядок її виконання, зміст і правила оформлення. Приведені завдання до курсової роботи, подано методичні рекомендації по складу, виконанню і оформленню курсової роботи. У додатках наведено довідковий матеріал і розглянуто приклади розрахунків і оформлення окремих частин пояснювальної записки. Наведено список рекомендованої літератури.

Автори:

О.М. Копитова, доц.,  
С.В. Грідін, доц.  
Л.В. Славінська ст. викл.

Відповідальний за випуск: Павлиш В.М., д.т.н., проф.

## СОДЕРЖАНИЕ

1	ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
1.1	Мета і завдання курсової роботи.....	4
1.2	Організація виконання курсової роботи.....	4
2	СКЛАД КУРСОВОЇ РОБОТИ І ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ.....	4
2.1	Структура пояснювальної записки .....	4
2.2	Вимоги до структурних елементів пояснювальної записки.....	5
2.3	Вимоги до оформлення пояснювальної записки.....	7
2.4	Рекомендації по розробці додатка для Windows .....	7
3	КОРОТКІ ВІДОМОСТІ ПРО ПАЛИВО І ПРОЦЕС ЙОГО ГОРІННЯ.....	8
3.1	Вступ .....	8
3.2	Загальні відомості про паливо .....	8
3.3	Види органічного палива .....	9
3.4	Склад палива .....	9
3.5	Стан палива .....	11
3.6	Питома теплота згорання палива .....	12
3.7	Мета і обмеження розрахунку процесу горіння .....	13
4	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ГОРІННЯ ТВЕРДОГО І РІДКОГО ПАЛИВ....	14
4.1	Визначення об'єму кисню для спалювання 1 кг палива .....	14
4.2	Визначення об'єму повітря для спалювання 1 кг палива.....	16
4.3	Визначення об'єму і складу продуктів згорання .....	16
5	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ГОРІННЯ ГАЗОПОДІБНОГО ПАЛИВА.....	19
5.1	Розрахунок об'єму кисню і повітря для спалювання 1 м <sup>3</sup> газу.....	20
5.2	Розрахунок виходу продуктів згорання.....	21
6	ПЕРЕВІРКА ПРАВИЛЬНОСТІ РОЗРАХУНКУ ПО МАТЕРІАЛЬНОМУ БАЛАНСУ .....	22
7	ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	23
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	26
	ДОДАТОК А. ГРАФІК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	26
	ДОДАТОК В. ПРИКЛАДИ ОФОРМЛЕННЯ ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ.....	28
	ДОДАТОК С. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ.....	59
	ДОДАТОК Д. ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ .....	62
	ДОДАТОК Е. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ГОРІННЯ ПАЛИВ .....	64
1	Розрахунок процесу горіння рідкого палива .....	64
2	Розрахунок процесу горіння природного газу .....	68

# **1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

## **1.1 Мета і завдання курсової роботи**

Курсова робота виконується на базі знань, отриманих при вивченні курсу « Основи інформаційних технологій і програмування » і загальноосвітніх дисциплін.

Метою курсової роботи є закріплення теоретичних знань і практичних навиків студентів по основах алгоритмізації, програмування і відладці програм при розв'язанні інженерної задачі.

Змістом курсової роботи є розрахункове технологічне завдання однієї із спеціальних дисциплін, що читаються студентам на старших курсах. Надалі це дозволить використовувати результати курсової роботи в науково-дослідній роботі студентів, в курсовому і дипломному проектуванні.

## **1.2 Організація виконання курсової роботи**

Завдання на виконання курсової роботи видається студентові керівником. Студент оформляє лист завдання, що містить тему курсової роботи, дату видачі, термін здачі і вихідні дані, – відповідно до теми і номера варіанту. Лист завдання підписується керівником курсової роботи.

При видачі завдання на курсову роботу керівником встановлюється графік виконання роботи (див. додаток А).

Основною формою виконання курсової роботи є самостійна робота студента під керівництвом викладача. Курсова робота має бути виконана в терміни, вказані в листі завдання, і здана на перевірку керівникові. Оцінка за виконання курсової роботи виставляється комісією, призначеною завідувачем кафедри. При незадовільній оцінці курсова робота повертається для виправлення або доповнення або студентові видається нове завдання.

# **2 СКЛАД КУРСОВОЇ РОБОТИ І ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ**

Курсова робота включає в себе роздруковану пояснювальну записку і диск з файлами. Диск повинен містити файли проекту (в окремому каталозі), файл контрольного розрахунку в MS Excel і файл MS Word з пояснювальною запискою.

## **2.1 Структура пояснювальної записки**

*Титульний лист*

*Лист завдання*

*Реферат*

*Зміст*

*Вступ*

- 1. Постановка задачі*
- 2. Контрольний приклад*
- 3. Блок-схема алгоритму*
- 4. Опис алгоритму*
- 5. Характеристика даних і їх умовні позначення*

6. *Текст програми*
7. *Опис роботи програми*
8. *Графік залежності*
9. *Аналіз результатів*

*Висновок*

*Список використаної літератури*

*Додатки*

## **2.2 Вимоги до структурних елементів пояснювальної записки**

«*Титульний лист*» (зразок приведений в додатку В.1) є першою сторінкою пояснювальної записки і служить основним джерелом бібліографічної інформації, необхідної для обробки і пошуку документів.

«*Лист завдання*» (зразок – в додатку В.2) відображає тему завдання і вихідні дані відповідного варіанту.

«*Реферат*» (приклад – в додатку В.3) призначений для ознайомлення з роботою. Він має бути коротким, інформативним і містити відомості, що дозволяють уявляти суть роботи. Реферат повинен містити:

- відомості про об'єм записки, кількості ілюстрацій, таблиць, додатків, кількості джерел по переліку заслань;
- текст реферату;
- перелік ключових слів.

Текст реферату повинен відображати інформацію, представлену в пояснювальній записці і, як правило, в певній послідовності:

- об'єкт розробки або дослідження;
- мета роботи;
- методи дослідження;
- результати і їх новизна;
- значущість роботи і висновки.

Реферат необхідно виконувати обсягом не більше 500 слів і розміщувати на одній сторінці формату А4.

Ключові слова, істотні для розкриття суті записки, формують на основі тексту реферату і поміщають перед текстом реферату. Перелік ключових слів включає від 5 до 15 слів (словосполук), надрукованих прописними буквами в називному відмінку в рядок через коми.

«*Зміст*» (приклад – в додатку В.4) поміщають безпосередньо після реферату, починаючи з нової сторінки. Зміст включає:

- вступ;
- послідовно перераховані найменування всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони є);
- висновки;
- перелік посилань;
- найменування додатків.

У розділі «*Вступ*» дається коротка оцінка сучасного стану проблеми і викладаються існуючі проблеми знання в даній області; обґрунтовується мета

роботи і необхідність застосування комп'ютерних засобів для вирішення подібних задач. Вступ розташовується на окремій сторінці.

У розділі «*Постановка завдання*» наводиться словесна і математична постановка завдання.

У розділі «*Контрольний приклад*» (приклад – в додатку В.5) наводяться результати розрахунку без використання програмування, наприклад, виконані за допомогою табличного редактора Excel.

У розділі «*Блок-схема алгоритму*» (приклад – в додатку В.6) наводиться блок-схема алгоритму в стандартних позначеннях відповідно до ГОСТ.

«*Опис алгоритму*» (приклад – в додатку В.7) є поясненнями, відповідними кожному блоку алгоритму.

У розділі «*Характеристика даних і їх умовні позначення*» (приклад – в додатку В.8) необхідно заповнити наступну таблицю:

п/п	Найменування даних	Позначення в блок-схемі	Позначення в програмі	Тип змінної

Розділ «*Текст програми*» (приклад – в додатку В.9) є роздрукуванням працюючої програми з коментарями до неї.

У розділі «*Опис роботи програми*» (приклад – в додатку В.10) необхідно описати характер взаємодії користувача і програми. Тут наводиться опис послідовності дій користувача, що призводить до здобуття результату, і реакцій програми на ці дії.

Розділ «*Графік залежності*» (приклад – в додатку В.11) демонструє графічне представлення результатів обчислень, отриманих в табличному редакторі Excel.

У розділі «*Аналіз результатів*» (приклад – в додатку В.12) необхідно охарактеризувати результати роботи програми і проаналізувати їх відповідність контрольному прорахунку.

«*Висновок*» містить загальні висновки по виконанню курсової роботи.

Всі видання, використовувані при виконанні курсової роботи і їх автори, мають бути перелічені в «*Списку використаної літератури*».

У «*Додатку*» (приклад – в додатках В.13 і В.14) наводяться: роздрукування результатів, отриманих в результаті роботи програми; вигляд екрану – якщо завдання вирішувалося в діалоговому режимі і результати виводилися на екран; діаграми, таблиці і інший необхідний матеріал, який доповнює текст пояснювальної записки.

### 2.3 Вимоги до оформлення пояснювальної записки

Пояснювальна записка оформляється на листах формату А4 в текстовому редакторі WORD. Текст пояснювальної записки має бути набраний 14 шрифтом і мати наступні розміри полів: ліве – 25мм., праве – 10мм., верхнє – 20мм., нижнє – 20мм., абзац – 15мм.

Кожен розділ пояснювальної записки повинен починатися з нової сторінки. Заголовки розділів нумеруються арабськими цифрами і відділяються від основного тексту. Нумерація сторінок крізна, починаючи з титульного листа. На титульному листі, листі завдання, змісті і анотації номера сторінок не ставлять, на подальших сторінках номери вказують арабськими цифрами в правому верхньому кутку.

Пояснювальна записка представляється до захисту в зброшурованому вигляді.

У додатку С приведені детальні вимоги до оформлення.

### 2.4 Рекомендації по розробці додатка для Windows

1. Створити окремий каталог для проекту, що розробляється.
2. Створити в Delphi новий проект (команда **File** → **New** → **Application**) і відразу зберегти його в каталозі, створеному в п.1 [6,7].
3. Продумати і скласти список дій, які мають бути доступні майбутньому користувачеві за допомогою різних елементів управління, якось: кнопок, панелей інструментів, рядка основного меню і ін.
4. У компоненті **ImageList** підготувати список піктограм на кнопках для тих нестандартних дій, які мають бути доступні з швидких кнопок панелі інструментів. Перенести на головну форму компонент диспетчеризації дій **ActionList** і пов'язати його з **ImageList**.
5. Перенести на форму компонент **MainMenu** – головне меню і пов'язати його з **ImageList**, а в його кнопках вказати заклики на дії, описані в **ActionList**.
6. Створити на формі одну або декілька панелей інструментів, пов'язавши їх з компонентами **ActionList** і **ImageList**.
7. Ретельно продумати і скомпонувати форму для кожного вікна, яке буде виведено в додатку. Функціонально зв'язані між собою елементи вікна необхідно об'єднати в групи так, щоб заголовок групи коротко і чітко пояснював її призначення. Для цього зручно використовувати, наприклад, панелі **Panel** і **GroupBox**, розташовані на сторінці **Standard**.
8. Якщо користувачеві необхідно вибирати деяку інформацію з декількох заздалегідь відомих альтернатив, то рекомендується використовувати компонент **ComboBox** – випадний список. Для вибору однієї з декількох взаємовиключних альтернатив слід використовувати компонент **RadioGroup**.
9. Налаштувати властивості і вказати методи для кожного з об'єктів.
10. Написати і відладити всі необхідні обробники подій.

### **3 КОРОТКІ ВІДОМОСТІ ПРО ПАЛИВО І ПРОЦЕС ЙОГО ГОРІННЯ**

Подальший виклад заснований на роботах [1]÷[5], приклади конкретних розрахунків горіння палива узяті з [3].

#### **3.1 Вступ**

Людство не може жити і розвиватися без вироблення і вжитку теплової енергії. За останніх 30 років світове енергоспоживання подвоїлося і щорік складає порядку 10 млрд. тонн в нафтовому еквіваленті (н.е.). При нинішніх темпах розвитку на рубежі 2050 років цей показник може досягти вже 30 млрд. тонн. По оцінках експертів, доведені світові запаси нафти сьогодні складають приблизно 270 млрд. тонн, газу – 240 млрд. тонн н.е. Цього палива вистачить на 52 – 94 роки, якщо збережеться існуючий рівень споживання.

Сьогодні джерелами здобуття енергії є, перш за все, викопні палива всіх видів (95%), гідроенергетика (близько 4%) і атомна енергетика (мало чим більше 1%).

У техніці одне з провідних місць займає процес горіння, будучи основою енергетики, транспорту, більшості технологічних процесів і побуту. По рівню споживання енергії можна судити про рівень розвитку країни. Оскільки природні запаси джерел паливної енергії обмежені, важливим завданням є економне використання паливно-енергетичних ресурсів.

З іншого боку, при спалюванні палива, виробляються продукти, що шкідливо впливають на довкілля. Тому ще одним важливим моментом використання палива в якості джерела теплової енергії є охорона довкілля.

Із сказаного витікає наступний вивід: для економічного і екологічно чистого використання палива необхідно уміти правильно розраховувати процес горіння і грамотно управляти їм.

#### **3.2 Загальні відомості про паливо**

Паливом називають речовини, які в результаті фізико-хімічних процесів здатні виділяти теплову енергію і які на даному рівні розвитку техніки економічно доцільно використовувати для вироблення енергії. Паливо, що використовується для вироблення електроенергії і теплоти в промисловому масштабі, називають енергетичним.

Розрізняють два види палива, що відрізняються за принципом звільнення енергії:

- органічне паливо, яке виділяє теплову енергію в результаті хімічних реакцій окислення горючих компонентів, що входять до його складу. Окислення, що протікає з високою швидкістю, і називають горінням;
- ядерне паливо, яке виділяє теплову енергію в результаті фізичних процесів перетворення речовини на ядерному рівні (ділення ядер важких елементів, синтез ядер легких елементів і тому подібне).



До палива пред'являється ряд вимог:

- запаси палива мають бути достатні для економічно вигідного його видобутку;
- продукти реакції повинні легко віддалятися із зони реагування;
- продукти реакції мають бути нешкідливі для довкілля і пристроїв, де відбувається реагування;
- процес реакції має бути легко керованим.

Щонайкраще в даний час цим вимогам задовольняє органічне паливо, в основі якого лежать органічні речовини, що містять вуглець, водень, кисень і їх з'єднання. Тому, не дивлячись на бурхливий розвиток ядерної енергетики в другій половині ХХ століття, сьогодні доля вироблення енергії на основі використання органічного палива залишається переважаючою.

### 3.3 Види органічного палива

За походженням палива підрозділяють на *природні* і *штучні*, отримані в результаті переробки природного палива. У свою чергу природні палива підрозділяють на *викопні*, які добуваються з надр, і *поновлювальні*, до яких відносять різні біомаси (деревину, рослинні відходи сільського господарства і тому подібне). До викопних палив відносяться: кам'яне і буре вугілля, антрацит, нафта, природний і попутний газ природних родовищ, торф, горючі сланці і інші палива рослинного і органічного походження. До штучних палив відносять продукти технологічної переробки природних палив: бензин, гас, мазут, паливні брикети і ін.

По сфері споживання палива розділяють на дві групи: *енергетичні* – що споживаються енергопідприємствами при виробленні електроенергії і теплоти; і *технологічні* – що використовуються як сировина для виробництва промислових продуктів (наприклад, коксу).

По агрегатному стану органічне паливо може бути *твердим, рідким і газоподібним*. Класифікація органічних палив за агрегатним станом і походженням приведена в додатку в таблиці. D.1.

В даний час в основному використовуються наступні енергетичні органічні палива: як тверде паливо – викопні вугілля; як рідке паливо – мазут, що є продуктом переробки нафти; як газоподібне паливо – природний газ. На початок ХХІ століття на газ доводиться приблизно 2,6% теплоти, що міститься у всіх розвіданих світових запасах органічних палив; на нафту не більше 3,5% і на вугілля близько 90% [2]. Таким чином, копалини вугілля є основним органічним паливом у наш час.

### 3.4 Склад палива

Компоненти, з яких складається органічне паливо, діляться на *пальні і негорючі*. Кількість і якість горючих компонентів визначають теплову цінність палива. Негорючі компоненти "засмічують" паливо, утворюючи "баласт", який

погіршує якість і технологічні показники палива, знижує його теплову цінність, погіршує економічні і екологічні показники котельних установок.

Будь-яке паливо можна розглядати як речовину, що складається з окремих хімічних елементів. Тому, кажучи про хімічний склад, часто застосовують термін "елементарний склад".

**Склад твердого і рідкого палива** визначається в процесі лабораторного аналізу, і його прийнято виражати у **відсотках по масі**. Основу елементарного складу твердого і рідкого палива складають п'ять хімічних елементів: вуглець С, водень Н, азот N, кисень О і сірка S.

Вуглець - найбільш важлива складова твердого і рідкого палива, оскільки його більш всього міститься в масі палива. Згораючи, вуглець виділяє значну кількість теплоти.

У паливі вуглець знаходиться зазвичай у вигляді з'єднань з іншими елементами, перш за все з воднем. Ці з'єднання називають вуглеводневими.

Водень - друга по важливості горюча складова твердого і рідкого палив. По кількості теплоти, що виділяється при горінні, водень в 3,5 разу коштовніше за вуглець, але вміст водню в паливах значно менший, ніж вуглецю. Водень в паливі може знаходитися у вигляді з'єднань з вуглецем, сіркою, киснем і у вільному стані.

Сірка, що міститься в паливі, може знаходитися у вигляді пальних і негорючих з'єднань. Органічна ( $S_{op}$ ) і колчеданна ( $FeS_2$ ) сірка пальні, а сульфатна ( $CaSO_4$ ,  $FeSO_4$  і так далі) - не горюча і входить до складу золи палива.

Азот палива є баластом, відноситься до негорючої частини палива, але при горінні в умовах високих температур може вступати у взаємодію з вільним киснем, утворюючи оксиди азоту ( $NO_x$ ), *перехідні* в продукти згорання і що є речовинами, що надають шкідливу дію на довкілля, особливо на живі організми.

Кисень - небажана складова палива. Знаходячись у вільному стані, кисень підвищує здібність палива до самозаймання. З'єднуючись з вуглецем і воднем палива, кисень утворює негорючі складові ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ), що знижують теплову цінність палива.

Насправді кожне паливо складається з різних хімічних сполук цих елементів. Від вигляду з'єднання залежить агрегатний стан палива – рідке або тверде.

Окрім цих елементів, в паливо входять мінеральні домішки, з яких в процесі спалювання палива утворюються зола А і волога W. Зола і волога складають так званий зовнішній баласт палива. До внутрішнього баласту палива відносять азот і кисень, що входять до його складу.

Таким чином, **до складу твердих і рідких палив входять:**

- горючі елементи: вуглець С, водень Н, летка сірка S, що складається з органічної сірки  $S_{op}$  і колчеданної  $S_k$ , що входить до  $FeS_2$ ;
- негорючі елементи: азот N і кисень O;
- баласт: зола А і волога W.

Склад твердих і рідких палив записують у вигляді знаків хімічних елементів:

$$C + H + O + N + S + A + W = 100\%, \quad (3.1)$$

де символи С, Н, О, N, S виражають процентний вміст по масі відповідно вуглецю, водню, кисню, азоту і сірки, а символи А і W – вміст золи і вологи.

**Газоподібне паливо є сумішшю** горючих ( $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_mH_n$ ) і негорючих ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ) газів, а також невеликої кількості водяної пари ( $H_2O$ ). Склад газоподібного палива прийнято вказувати у **відсотках за об'ємом**.

Хімічний склад газоподібного палива непостійний. Він залежить від місця видобутку палива або способу його здобуття. Склад горючих газів можна також

характеризувати співвідношенням (3.1). Проте зручніше (і прийнято) визначати склад газоподібного палива по об'ємному вмісту окремих його компонентів:

$$\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4 + \sum \text{C}_m\text{H}_n + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 + \text{N}_2 + \dots = 100\%, \quad (3.2)$$

де формули з'єднань виражають їх процентний вміст за об'ємом.

Як окислювач, що містить кисень, необхідний для процесу горіння, зазвичай використовується повітря. Склад повітря і деякі його властивості приведені в додатку в таблиці D.2. Зазвичай з достатньою точністю можна приймати, що повітря складається з азоту і кисню, причому вміст останнього за об'ємом і по вазі відповідно 21 і 23,2%, а середня молекулярна вага сухого повітря – 28,97.

### 3.5 Стан палива

При вивченні характеристик твердих і рідких палив і їх складу розрізняють **робочий, горючий і сухий стан палива**. **Робоче** – це стан палива з таким вмістом загальної вологи і зольністю, з якими воно добувається, відвантажується або використовується. **Сухе** – це стан палива, що не містить загальної вологи. **Пальне** – це умовний стан палива, що не містить загальної вологи і золи. Відповідно до формули (3.1) склад робочої, сухої і горючої маси позначається відповідно індексами «р», «с» і «г» і виражається наступною рівністю:

$$\text{C}^{\text{P}} + \text{H}^{\text{P}} + \text{S}^{\text{P}} + \text{N}^{\text{P}} + \text{O}^{\text{P}} + \text{A}^{\text{P}} + \text{W}^{\text{P}} = 100\%; \quad (3.3)$$

$$\text{C}^{\text{C}} + \text{H}^{\text{C}} + \text{S}^{\text{C}} + \text{N}^{\text{C}} + \text{O}^{\text{C}} + \text{A}^{\text{C}} = 100\%; \quad (3.4)$$

$$\text{C}^{\text{Г}} + \text{H}^{\text{Г}} + \text{S}^{\text{Г}} + \text{N}^{\text{Г}} + \text{O}^{\text{Г}} = 100\%; \quad (3.5)$$

де  $X^{\text{P}}$ ,  $X^{\text{C}}$ ,  $X^{\text{Г}}$  – процентний вміст даного компонента відповідно в робочій, сухій і горючій масі.

Вважається, що горючий стан палива достатньо стабільний, оскільки елементарний склад залежить від родовища палива. Зовнішній баласт палива (Зміст вологи і золи), навпаки, може змінюватися в досить широких межах.

У формулах (3.3), (3.4), (3.5) Зміст елементів даний у відсотках на 1 кг палива. Коефіцієнти перерахунку складу палива з одного стану в інше приведені в додатку в таблиці D.3.

В газоподібного палива, на відміну від твердого і рідкого, розрізняють лише два стани: "**сухий газ**" (індекс с.г.) і "**вологий газ**" (індекс в.г.) – робочий стан, які позначаються так:

$$\text{CO}^{\text{с.г.}} + \text{H}_2^{\text{с.г.}} + \text{CH}_4^{\text{с.г.}} + \sum \text{C}_m\text{H}_n^{\text{с.г.}} + \text{CO}_2^{\text{с.г.}} + \dots + \text{N}_2^{\text{с.г.}} = 100\%; \quad (3.6)$$

$$\text{CO}^{\text{в.г.}} + \text{H}_2^{\text{в.г.}} + \text{CH}_4^{\text{в.г.}} + \sum \text{C}_m\text{H}_n^{\text{в.г.}} + \text{CO}_2^{\text{в.г.}} + \dots + \text{N}_2^{\text{в.г.}} + \text{H}_2\text{O}^{\text{в.г.}} = 100\%. \quad (3.7)$$

У формулах (3.6), (3.7) вміст елементів даний у відсотках на 1 м<sup>3</sup> палива.

### 3.6 Питома теплота згорання палива

Хімічний склад палива є вихідною характеристикою, від якої залежить подальший розрахунок процесу горіння. Проте, сам хімічний склад ще не визначає теплову цінність палива. Про це можна судити по іншій характеристиці, що зветься теплотою згорання палива. Теплота згорання – це питома теплова характеристика, яку застосовують для порівняння між собою різних видів палива по їх тепловій цінності, а також для розрахунку процесу горіння.

**Теплота згорання палива  $Q$**  – це кількість теплоти, що виділяється одиницею палива (1кг або 1м<sup>3</sup>) при його повному згоранні.

У продуктах згорання палива завжди міститься водяна пара, що утворилася при горінні водню палива і випарі вологи палива. Якщо продукти горіння в процесі тепловіддачі охолоджуються до температури нижче 0°C, то водяні пари, що знаходяться в них, конденсуються і виділяють додаткову кількість теплоти.

У зв'язку з цим розрізняють вищу і нижчу теплоту згорання палива.

**Вищою теплотою згорання палива** (позначається  $Q_V^P$ ) називається кількість тепла, що виділяється при повному згоранні 1 кг твердого (рідкого) або 1 м<sup>3</sup> газоподібного палива, включаючи тепло, що виділяється при конденсації водяної пари, яка міститься в продуктах згорання палива.

Проте, в промислових умовах продукти згорання покидають робочий простір теплових агрегатів при температурі, що значно перевищує 0°C, відносячи з собою пару, що не сконденсувалася. Тому при тепловому розрахунку котельних агрегатів користуються **нижчою теплотою згорання палива** (позначається  $Q_H^P$ ), визначеною без конденсації водяної пари.

Для твердого і рідкого палива, величину  $Q_H^P$  можна розрахувати приблизно по формулі Менделєєва, якщо відомий склад робочої маси палива:

$$Q_H^P = 339C^P + 1030 \cdot H^P - 109 \cdot (O^P - S^P) - 25 \cdot (9 \cdot H^P + W^P) \text{ кДж/кг}, (3.8)$$

де компоненти робочої маси узяті у відсотках.

Для газоподібного палива нижчу теплоту згорання можна розрахувати, підсумовуючи теплові ефекти реакцій окислення горючих компонентів палива:

$$Q_H^P = 127,7 \cdot CO^{B,\Gamma} + 108 \cdot H_2^{B,\Gamma} + 358 \cdot CH_4^{B,\Gamma} + 590 \cdot C_2H_4^{B,\Gamma} + 555 \cdot C_2H_2^{B,\Gamma} + \\ + 636 \cdot C_2H_6^{B,\Gamma} + 913 \cdot C_3H_8^{B,\Gamma} + 1185 \cdot C_4H_{10}^{B,\Gamma} + 1465 \cdot C_5H_{12}^{B,\Gamma} + 234 \cdot H_2S^{B,\Gamma} \\ \text{кДж/м}^3 \quad (3.9)$$

де компоненти палива узяті в об'ємних відсотках.

Теплотворна здатність твердого палива коливається в досить широких межах, що пояснюється істотною відмінністю складу робочої маси палива. Природний газ має менші відмінності в складі, тому в середньому теплотворна здатність природного газу складає 35,5 МДж/м<sup>3</sup>.

### 3.7 Мета і обмеження розрахунку процесу горіння

**Метою розрахунку** горіння палива є визначення наступних кількісних характеристик:

- теплота згорання палива ( $Q_H^P$ , кДж/кг або кДж/м<sup>3</sup>);
- теоретична і дійсна витрати атмосферного повітря, необхідного для повного спалювання одиниці палива ( $L$ , м<sup>3</sup>/кг або м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>);
- вихід ( $V$ , м<sup>3</sup>/кг або м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) і склад продуктів повного згорання;
- перевірка матеріального балансу і розрахунок неув'язки (у відсотках).

Розрахунок вказаних характеристик здійснюватимемо на основі наданого хімічного складу палива (**точні розрахунки**).

В процесі розрахунку діятимуть наступні **допущення**:

- 1) всі розрахунки ведуться на одиницю палива (1 кг для твердих і рідких і 1 м<sup>3</sup> для газоподібних палив);
- 2) всі газові об'єми розраховуються за нормальних умов, тобто при 0°C і тиску 760 мм рт.ст.;
- 3) об'єм один кмоль газів в цих умовах приймається рівним 22,4 м<sup>3</sup>;
- 4) як окислювач використовується атмосферне повітря, склад якого вважається постійним: у одиниці об'єму повітря – 21% кисню і 79% азоту. Співвідношення азоту і кисню повітря представляється у вигляді константи

$$K = \frac{79}{21} = 3,76. \quad (3.10)$$

- 5) зв'язок між кількістю продуктів реакції і кількістю реагуючих речовин встановлюється на підставі наступних положень:
  - а) всі хімічні сполуки складаються з атомів окремих елементів, зв'язаних в певних чисельних співвідношеннях;
  - б) атоми при хімічних реакціях зберігають свою індивідуальність, тобто при реакції відбувається лише перегрупування атомів.

Для розрахунків використовуватимемо балансові рівняння, що показують початкові і кінцеві стани компонентів, що беруть участь в реакціях. Такі рівняння називаються **стехіометричними**, а характеристикам, отриманим на основі стехіометричних співвідношень, надають індекс "нуль". Так, **кількість повітря, теоретично необхідна** для спалювання одиниці палива, позначатиметься  $L_0$ , а **теоретичний вихід продуктів згорання** від спалювання одиниці палива позначатиметься  $V_0$ .

Проте на практиці для повного згорання палива теоретично необхідної кількості повітря буває недостатньо. Причинами цього можуть бути нерівномірна подача повітря, погане перемішування повітря з паливом, недосконалість спалюючих пристроїв і ін. Тому в реальних умовах для забезпечення повного окислення паливних складових палива повітря подають з

деяким надлишком. Цю дійсну (практичну) кількість введеного повітря, необхідну для спалювання одиниці палива, позначають  $L_\alpha$  ( $\text{м}^3/\text{кг}$  або  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ).

Відношення дійсної кількості повітря до теоретично необхідної називають коефіцієнтом надлишку повітря ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \frac{V_\alpha}{V_0}.$$

Коефіцієнт надлишку повітря залежить від вигляду палива, способу його спалювання і так далі. Для газоподібного палива зазвичай  $\alpha = 1,05 \div 1,1$ ; рідкого  $\alpha = 1,1 \div 1,3$ ; твердого  $\alpha = 1,2 \div 1,7$ . Чим більш досконало топка і краще пристрої пальників, тим менше доводиться подавати «зайвого» повітря.

**Дійсний (практичний) вихід продуктів згорання**, який утворюється при конкретному коефіцієнті  $\alpha$ , позначається  $V_\alpha$ .

Для складання стехіометричних рівнянь необхідно знати співвідношення мас. Кожен атом певного елемента в будь-якій хімічній сполуці має одну і ту ж масу. По рівнянню хімічної реакції можна знайти маси реагентів і продуктів реакції.

Атомні і молекулярні ваги речовин, що зазвичай утворюються при згоранні палива, приведені в таблиці D.4 додатка. Десятковими знаками зазвичай нехтують.

Розглянемо точні розрахунки горіння палив, засновані на стехіометричних співвідношеннях паливних складових і окислювача. Такі розрахунки прийнято називати **аналітичними**.

## 4 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ГОРІННЯ ТВЕРДОГО І РІДКОГО ПАЛИВ

Для аналітичного розрахунку необхідно знати елементарний склад палива (див. формулу 3.3):

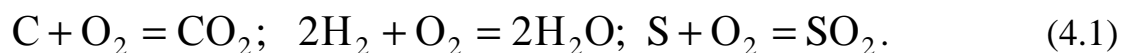
$$C^P + H^P + S^P + N^P + O^P + A^P + W^P = 100\%.$$

У даній формулі склад палива заданий у відсотках по масі. При цьому кисень, необхідний для окислення горючих елементів, потрібно визначити за об'ємом – в кубічних метрах. Для переходу від однієї одиниці виміру до іншої використовуватимемо молярне співвідношення кисню і горючого елемента в реакції окислення.

### 4.1 Визначення об'єму кисню для спалювання 1кг палива

Яким би складним не був склад вуглеводневого палива, при його повному згоранні вуглець окислюється до  $\text{CO}_2$ , водень – до  $\text{H}_2\text{O}$ , сірка – до  $\text{SO}_2$ .

Розглянемо стехіометричні рівняння реакцій окислення:



Для окислення одного кмоля вуглецю масою 12 кг потрібно один кмоль кисню, що займає об'єм 22,4 м<sup>3</sup>. Отже, витрата кисню на повне спалювання 1 кг вуглецю дорівнює  $\frac{22,4}{12} = 1,867 \text{ м}^3 / \text{кг}$ .

Тоді, якщо в 1 кг даного палива міститься вуглецю (%) C<sup>P</sup>, то для його окислення буде потрібно кисню:

$$V_{O_2}^C = 0,01 \cdot 1,867 \cdot C^P \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Тут, як і в подальших формулах, коефіцієнт 0,01 необхідний, оскільки при завданні складу палива доля вуглецю C<sup>P</sup> була задана у відсотках.

З другого рівняння (4.1) видно, що для окислення двох кмолей водню масою 4 кг потрібно один кмоль кисню, тобто на горіння 1 кг водню необхідно витратити кисню  $22,4/4 = 5,6 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Тоді для окислення водню в кількості (%)H<sup>P</sup>, що міститься в 1 кг палива, буде потрібно об'єм кисню:

$$V_{O_2}^H = 0,01 \cdot 5,6 \cdot H^P \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Аналогічно, для окислення (%)S<sup>P</sup> сірки в 1 кг палива необхідний кисень в об'ємі:

$$V_{O_2}^S = 0,01 \cdot \frac{22,4}{32} = 0,01 \cdot 0,7 \cdot S^P \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

До складу твердих і рідких палив входить якась кількість кисню O<sup>P</sup>, який при горінні палива може брати участь в реакціях окислення. Тому з сумарного об'єму кисню, необхідного для горіння 1 кг палива, слід відняти об'єм кисню палива. Знайдемо цей об'єм, використовуючи молярне співвідношення. Один кмоль кисню масою 32 кг займає об'єм 22,4 м<sup>3</sup>, тобто 1 кг кисню має об'єм:

$$\frac{22,4}{32} = 0,7 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Отже, об'єм кисню, що міститься в 1 кг палива, складе:

$$V_{O_2}^O = 0,01 \cdot 0,7 \cdot O^P \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Звідси **загальна витрата кисню**, необхідного для повного згорання 1 кг рідкого або твердого палива, буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} V_{O_2} &= V_{O_2}^C + V_{O_2}^H + V_{O_2}^S - V_{O_2}^O = \\ &= 0,01 \cdot (1,867 \cdot C^P + 5,6 \cdot H^P + 0,7 \cdot S^P - 0,7 \cdot O^P) \text{ м}^3 / \text{кг}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

## 4.2 Визначення об'єму повітря для спалювання 1 кг палива

Теоретичний об'єм сухого повітря можна визначити з вираження:

$$L_0^{C.B.} = (1 + K) \cdot V_{O_2} \text{ м}^3/\text{кг} \quad (4.3)$$

де  $K = 3,76$  (див. формулу(3.10)).

Дійсна витрата сухого повітря рівна

$$L_{\alpha}^{C.B.} = \alpha \cdot L_0^{C.B.} \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (4.4)$$

Вміст вологи повітря, як і горючих газів, задають в кількості грамів водяної пари, що приходить на  $1 \text{ м}^3$  сухого повітря, і позначають  $d^{C.B.}$  г/м<sup>3</sup>. Визначимо об'єм, займаний цією вологою, використовуючи молярне співвідношення. Один кмоль водяної пари масою 18 кг займає об'єм 22,4 м<sup>3</sup>.

Звідси об'єм 1 г вологи рівний  $\frac{22,4}{18 \cdot 1000} = 0,00124 \text{ м}^3 / \text{г}$ . Тоді об'єм водяної пари, що міститься в повітрі, необхідному для горіння 1 кг палива, дорівнює  $0,00124 \cdot d^{C.B.} \cdot L_0^{C.B.} \text{ м}^3 / \text{кг}$ .

Звідси теоретична витрата вологого повітря дорівнює:

$$L_0^{B.B.} = (1 + 0,00124 \cdot d^{C.B.}) \cdot L_0^{C.B.} \text{ м}^3/\text{кг} \quad (4.5)$$

а дійсна витрата вологого повітря дорівнює:

$$L_{\alpha}^{B.B.} = \alpha \cdot L_0^{B.B.} \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (4.6)$$

## 4.3 Визначення об'єму і складу продуктів згорання

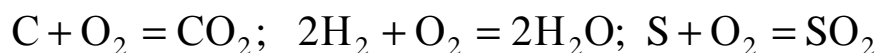
При проектуванні теплотехнічних агрегатів потрібно знати кількість газів, що утворюються, аби правильно розрахувати газоходи, димар, вибрати пристрій (димосос) для видалення цих газів і так далі. Продукти згорання розраховуються таким чином: спочатку виробляється розрахунок об'єму і складу продуктів згорання при  $\alpha = 1$ , а потім – при  $\alpha > 1$ .

**В результаті повного спалювання палива при  $\alpha = 1$**  утворюються продукти згорання, що містять  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{N}_2$ .

Об'єм димових газів, що утворюються при згоранні 1 кг твердого або рідкого палива при  $\alpha = 1$ , рівний:

$$V_0 = V_0^{\text{CO}_2} + V_0^{\text{SO}_2} + V_0^{\text{H}_2\text{O}} + V_0^{\text{N}_2} \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (4.7)$$

Розглянемо ще раз реакції окислення (4.1):



Використовуючи молярне співвідношення, можна визначити, що з одного кмоль вуглецю масою 12 кг утворюється один кмоль  $\text{CO}_2$  об'ємом 22,4 м<sup>3</sup>. Це означає, що в результаті окислення 1кг вуглецю утворюється



$\frac{22,4}{12} = 1,867 \text{ м}^3 / \text{кг}$  двоокису вуглецю. Тоді при спалюванні 1кг палива об'єм  $\text{CO}_2$ , що утворився, дорівнює:

$$V_0^{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot 1,867 \cdot C^P \text{ м}^3 / \text{кг}. \quad (4.8)$$

Аналогічні міркування дозволяють визначити об'єм  $\text{SO}_2$ , що утворився, при спалюванні 1кг палива:

$$V_0^{\text{SO}_2} = 0,01 \cdot 0,7 \cdot S^P \text{ м}^3 / \text{кг}. \quad (4.9)$$

У продуктах повного згорання твердого або рідкого палива водяна пара може утворюватися:

- 1) при окисленні водню;
- 2) при переході з палива в результаті випару вологи, що міститься в ній;
- 3) при внесенні вологим атмосферним дуттям.

Об'єм водяної пари  $V_{\text{H}}^{\text{H}_2\text{O}}$  при окисленні водню можна визначити з молярного співвідношення по реакції його згорання: з одного кмоль водню масою 2 кг утворюється один кмоль водяної пари об'ємом  $22,4 \text{ м}^3$ . Тоді при спалюванні 1 кг палива об'єм водяної пари, що є результатом окислення водню, рівний:

$$V_{\text{H}}^{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot 22,4 / 2 = 0,01 \cdot 11,2 \cdot \text{H}^P \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

При випарі вологи палива з одного кмоль води масою 18 кг утворюється один кмоль пари об'ємом  $22,4 \text{ м}^3$ . Тоді при згоранні 1кг палива об'єм цієї вологи складе:

$$V_{\text{W}}^{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot 22,4 / 18 = 0,01 \cdot 1,244 \cdot \text{W}^P \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Об'єм водяної пари, внесеної з повітрям, рівний

$$V_{\text{возд}}^{\text{H}_2\text{O}} = 0,00124 \cdot d^{\text{C.B.}} \cdot L_0^{\text{C.B.}} \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Загальний об'єм вологи, що утворюється при згоранні 1 кг палива, рівний:

$$\begin{aligned} V_0^{\text{H}_2\text{O}} &= V_{\text{H}}^{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{W}}^{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{возд}}^{\text{H}_2\text{O}} = \\ &= 0,01 \cdot (11,2 \cdot \text{H}^P + 1,244 \cdot \text{W}^P) + 0,00124 \cdot d^{\text{C.B.}} \cdot L_0^{\text{C.B.}} \text{ м}^3 / \text{кг}. \quad (4.10) \end{aligned}$$

Джерелами азоту в продуктах повного згорання є само паливо ( $(\%)N_2$ ) і атмосферне повітря або збагачене дуття.

По масі кмоль азоту (28 кг) і його об'єму ( $22,4 \text{ м}^3$ ) легко визначити об'єм 1кг азоту:  $\frac{22,4}{28} = 0,8 \text{ м}^3 / \text{кг}$ . Тоді

$$V_{\text{N}_2}^{\text{N}_2} = 0,01 \cdot 0,8 \cdot \text{N}^P \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

У атмосферному повітрі при співвідношенні об'ємів азоту і кисню  $K = \frac{V_{N_2}}{V_{O_2}}$  об'єм азоту складає:

$$V_{\text{возд}}^{N_2} = K \cdot V_{O_2} \quad \text{м}^3/\text{кг}.$$

Загальний об'єм азоту в димових газах,  $\text{м}^3$

$$V_0^{N_2} = 0,01 \cdot 0,8 \cdot N^P + K \cdot V_{O_2} \quad \text{м}^3 / \text{кг}. \quad (4.11)$$

Склад продуктів повного згорання при спалюванні 1 кг палива при  $\alpha=1$  визначається таким чином:

$$\left. \begin{aligned} \text{CO}_2 &= \frac{V_0^{\text{CO}_2}}{V_0} \cdot 100\%; & \text{SO}_2 &= \frac{V_0^{\text{SO}_2}}{V_0} \cdot 100\%; \\ \text{H}_2\text{O} &= \frac{V_0^{\text{H}_2\text{O}}}{V_0} \cdot 100\%; & \text{N}_2 &= \frac{V_0^{N_2}}{V_0} \cdot 100\%. \end{aligned} \right\} \quad (4.12)$$

**Об'єм і склад продуктів згорання при  $\alpha>1$**  відрізнятиметься від аналогічних характеристик при  $\alpha = 1$  із-за наявності надлишкового повітря.

Оскільки при  $\alpha=1$  передбачається повне окислення горючих компонентів, то при  $\alpha>1$  об'єми  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  залишаться у складі продуктів згорання. Але надлишкове повітря вплине на об'єми пари і азоту таким чином:

$$V_{\alpha}^{\text{H}_2\text{O}} = V_0^{\text{H}_2\text{O}} + 0,00124 \cdot d^{\text{C.B.}} \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0^{\text{C.B.}} \quad \text{м}^3 / \text{кг}; \quad (4.13)$$

$$V_{\alpha}^{N_2} = V_0^{N_2} + K \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{O_2} \quad \text{м}^3 / \text{кг}. \quad (4.14)$$

На додаток до цього в продуктах згорання з'явиться вільний (надлишковий) кисень, об'єм якого в перерахунку на 1 кг палива, визначається по формулі:

$$V_{O_2}^{\text{изб}} = (\alpha - 1) \cdot V_{O_2} \quad \text{м}^3 / \text{кг}. \quad (4.15)$$

З врахуванням всіх доповнень можна розрахувати об'єм продуктів згорання при  $\alpha>1$ :

$$V_{\alpha} = V_{\alpha}^{\text{CO}_2} + V_{\alpha}^{\text{SO}_2} + V_{\alpha}^{\text{H}_2\text{O}} + V_{\alpha}^{N_2} + V_{O_2}^{\text{изб}} \quad \text{м}^3/\text{кг}. \quad (4.16)$$

Склад продуктів згорання при  $\alpha > 1$ :

$$\left. \begin{aligned} \text{CO}_2 &= \frac{V_{\alpha}^{\text{CO}_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% ; & \text{SO}_2 &= \frac{V_{\alpha}^{\text{SO}_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% ; \\ \text{H}_2\text{O} &= \frac{V_{\alpha}^{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% ; & \text{N}_2 &= \frac{V_{\alpha}^{\text{N}_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% ; \\ \text{O}_2^{\text{изб}} &= \frac{V_{\text{O}_2}^{\text{изб}}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% . \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

## 5 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ГОРІННЯ ГАЗОПОДІБНОГО ПАЛИВА

На відміну від твердого і рідкого палива хімічний склад газоподібного палива наводиться на суху масу. По складу сухого газу необхідно визначити склад газу у вологому (робочому) стані. Для перерахунку складу палива на вологу масу необхідно знати значення вологості сухого газу  $d^{\text{С.Г.}}$ .

Волога в робочому складі газоподібного палива знаходиться у вигляді водяної пари. Зміст вологи залежить від температури газу. У додатку D.5 приведена таблиця вмісту вологи сухого повітря залежно від температури.

Зазвичай вологий склад розраховують так само, як для твердого і рідкого палива. Проте, якщо відомий вміст вологи сухого газу  $d^{\text{С.Г.}}$  (г/м<sup>3</sup> сухого газу), виражений в грамах на один кубічний метр сухого газу за нормальних умов 0°C і тиску 760 мм рт. ст., то процентний вміст водяної пари (у об'ємних відсотках) можна знайти по одній з еквівалентних формул:

$$\text{H}_2\text{O}^{\text{В.Г.}} = \frac{100 \cdot d^{\text{С.Г.}}}{803,6 + d^{\text{С.Г.}}} \% \quad \text{або} \quad (5.1)$$

$$\text{H}_2\text{O}^{\text{В.Г.}} = \frac{0,001244 \cdot d^{\text{С.Г.}}}{1 + 0,001244 \cdot d^{\text{С.Г.}}} \cdot 100\% = \frac{0,1244 \cdot d^{\text{С.Г.}}}{1 + 0,001244 \cdot d^{\text{С.Г.}}} \% . \quad (5.1a)$$

Потім обчислюють коефіцієнт перерахунку з сухого газу на вологий:

$$k = \frac{100 - \text{H}_2\text{O}^{\text{В.Г.}}}{100} \% , \quad (5.2)$$

за допомогою якого виробляють перерахунок всіх складових палива на вологу масу по формулі:

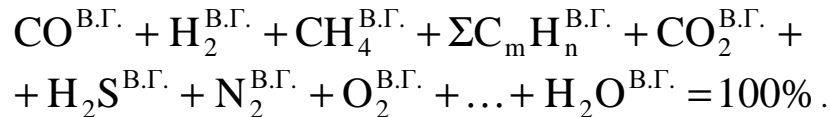
$$X^{\text{В.Г.}} = k \cdot X^{\text{С.Г.}} \% . \quad (5.3)$$

Після перерахунку сума всіх хімічних елементів палива, включаючи  $H_2O$ , повинна дорівнювати 100%.

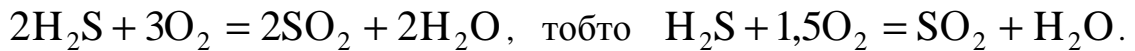
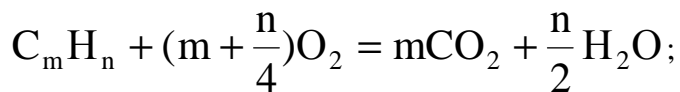
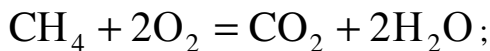
Далі по формулі (3.9) розраховують теплоту згорання палива  $Q_H^P$ .

### 5.1 Розрахунок об'єму кисню і повітря для спалювання $1 \text{ м}^3$ газу

Елементарний склад газоподібного палива відповідно до формули (3.7) рівний:



Виведення розрахункових формул для газоподібного палива простіше, ніж для твердого і рідкого, оскільки паливо і окислювач знаходяться в одному і тому ж агрегатному стані. Запишемо відповідні реакції окислення паливних складових палива:



З кожного рівняння видно, яка кількість кисню приходить на один моль горючої складової,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ . Тоді об'єм кисню, необхідний для повного спалювання одного кубічного метра газу в нормальних умовах при  $\alpha = 1$ , можна знайти по формулі:

$$\begin{aligned} V_{O_2} = &0,01 \cdot [0,5 \cdot (CO^{B.G.} + H_2^{B.G.}) + 2 \cdot CH_4 + \\ &+ (m + \frac{n}{4}) \cdot \sum C_m H_n^{B.G.} + 1,5 \cdot H_2S - O_2^{B.G.}] , \text{ м}^3/\text{м}^3 . \end{aligned} \quad (5.4)$$

Далі відповідно до формули (4.3) знаходимо теоретичну кількість сухого повітря, необхідного для згорання одного кубічного метра газоподібного палива (при  $\alpha = 1$ ):

$$L_0^{C.B.} = (1 + K) \cdot V_{O_2} \quad , \quad \text{м}^3/\text{м}^3 \quad (5.5)$$

де  $K = 3,76$  (див. формулу(3.10)), і відповідно до формули (4.4) – дійсна кількість сухого повітря (при  $\alpha > 1$ ):

$$L_\alpha^{C.B.} = \alpha \cdot L_0^{C.B.} \quad , \quad \text{м}^3/\text{м}^3 . \quad (5.6)$$

Далі відповідно до формули (4.5) теоретична витрата атмосферного повітря рівна:

$$L_0^{B.B.} = (1 + 0,00124 \cdot d^{C.B.}) \cdot L_0^{C.B.} \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (5.7)$$

а дійсна витрата – відповідно до формули (4.6):

$$L_\alpha^{B.B.} = \alpha \cdot L_0^{B.B.} \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (5.8).$$

## 5.2 Розрахунок виходу продуктів згорання

Продукти повного згорання газоподібного палива при  $\alpha = 1$  складаються з  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ .

Об'єми окремих складових продуктів згорання складають:

$$V_0^{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot (\text{CO}_2^{B.G.} + \text{CO}^{B.G.} + m \cdot \Sigma C_m \text{H}_n^{B.G.}) \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (5.9)$$

$$V_0^{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot (\text{H}_2\text{O}^{B.G.} + \text{H}_2^{B.G.} + \text{H}_2\text{S}^{B.G.} + \frac{n}{2} \cdot \Sigma C_m \text{H}_n^{B.G.}) \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (5.10)$$

$$V_0^{\text{N}_2} = 0,01 \cdot \text{N}_2^{B.G.} + K \cdot V_{\text{O}_2} \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (5.11)$$

$$V_0^{\text{SO}_2} = 0,01 \cdot (\text{SO}_2^{B.G.} + \text{H}_2\text{S}^{B.G.}) \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (5.12)$$

Тоді вихід продуктів згорання при спалюванні  $1 \text{ м}^3$  газоподібного палива при  $\alpha = 1$  складе

$$V_0 = V_0^{\text{CO}_2} + V_0^{\text{SO}_2} + V_0^{\text{H}_2\text{O}} + V_0^{\text{N}_2} + V_0^{\text{O}_2} \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (5.13)$$

При спалюванні  $1 \text{ м}^3$  газоподібного палива з  $\alpha > 1$  в продуктах згорання з'явиться надлишкове повітря, яке вплине на об'єм азоту і дасть надлишковий кисень. Тому при  $\alpha > 1$

$$V_\alpha^{\text{N}_2} = 0,01 \cdot \text{N}_2^{B.G.} + \alpha \cdot K \cdot V_{\text{O}_2} \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (5.14)$$

$$V_{\text{O}_2}^{\text{изб}} = (\alpha - 1) \cdot V_{\text{O}_2} \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (5.15)$$

Крім того, зміниться об'єм водяної пари:

$$V_\alpha^{\text{H}_2\text{O}} = V_0^{\text{H}_2\text{O}} + \frac{0,00124 \cdot d^{C.B.}}{1 + 0,00124 \cdot d^{C.B.}} \cdot L_\alpha^{B.B.} \text{ м}^3 / \text{м}^3. \quad (5.16)$$

Тоді вихід продуктів згорання при  $\alpha > 1$  рівний:

$$V_\alpha = V_\alpha^{\text{CO}_2} + V_\alpha^{\text{SO}_2} + V_\alpha^{\text{H}_2\text{O}} + V_\alpha^{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}^{\text{изб}} \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (5.17)$$

де  $V_\alpha^{\text{CO}_2} = V_0^{\text{CO}_2}$      $V_\alpha^{\text{SO}_2} = V_0^{\text{SO}_2}$ .

Розрахунок складу продуктів згорання здійснюється так само, як для твердого і рідкого палива (див. п. 4.3, формули (4.12) і (4.17)).

## 6 ПЕРЕВІРКА ПРАВИЛЬНОСТІ РОЗРАХУНКУ ПО МАТЕРІАЛЬНОМУ БАЛАНСУ

Відповідно до закону збереження маси сумарна вага всіх продуктів згорання палива дорівнює вазі спалюваного палива плюс вага повітря, що витрачається при спалюванні.

При правильному розрахунку кількостей речовин, що беруть участь в процесі горіння органічного палива, повинне виконуватися наступне балансове співвідношення:

$$M_{\text{топл}} + M_{\text{возд}} = M_{\text{гор}} \pm \Delta M, \quad (6.1)$$

де

$M_{\text{топл}}$ ,  $M_{\text{возд}}$ ,  $M_{\text{гор}}$  – відповідно маси палива, повітря і продуктів горіння, кг;

$\Delta M$  – нев'язка балансу, що допускається не більше 1% від  $M_{\text{гор}}$ .

Це балансове співвідношення є перевірою при виконанні розрахункового завдання.

Тут

$$M_{\text{топл}} = 1 \cdot \rho_{\text{топл}}; \quad M_{\text{возд}} = L_{\alpha}^{\text{B.B.}} \cdot \rho_{\text{в.в.}}; \quad M_{\text{гор}} = V_{\alpha} \cdot \rho_{\text{гор}}. \quad (6.2)$$

Щільність палива  $\rho_{\text{топл}}$ , вологого повітря  $\rho_{\text{в.в.}}$  і продуктів горіння  $\rho_{\text{гор}}$  розраховується по відповідному складу по формулі:

$$\rho = \frac{M_{\text{CO}} \cdot \text{CO} + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{H}_2\text{O} + \dots}{100 \cdot 22,4}, \quad (6.3)$$

де  $\rho$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>;

$M_{\text{CO}}$ ,  $M_{\text{H}_2\text{O}}$ , ... – відповідні молекулярні маси CO, H<sub>2</sub>O, ... , що визначатимуться по таб. D.4 .

Розрахунок матеріального балансу вироблятимемо для  $V=1000$  кг твердого або рідкого палива і для  $V=100$  м<sup>3</sup> газоподібного палива. Тоді кожну з мас у формулах (6.2) необхідно помножити на кількість палива  $V$ .

## 7 ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ

### ТЕМА КУРСОВОЇ РОБОТИ: «РОЗРАХУНОК ГОРІННЯ ПАЛИВА»

**ЗАВДАННЯ.** Відповідно до варіанту розробити алгоритм і скласти програму розрахунку горіння палива.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.

**I.** Для заданого палива і умов його спалювання обчислити наступні параметри горіння:

- 1) склад палива у вологому (робочому) стані – якщо початковим є стан, відмінний від робочого;
- 2) теплоту згорання палива (нижню);
- 3) теоретичну і дійсну кількість повітря, необхідного для спалювання одиниці палива;
- 4) кількість і склад продуктів згорання одиниці палива без надлишкового повітря і з надлишковим повітрям;
- 5) матеріальний баланс горіння палива: для рідких і твердих палив обчислити баланс для палива масою 1000 кг, для газоподібних палив – об'єм палива прийняти рівним 100 м<sup>3</sup>.

**II.** Побудувати в MS Excel діаграму (діаграми) – відповідно до варіанту.

#### ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ.

1. Програму скласти на мові Object Pascal і відладити в інтегрованому середовищі програмування Delphi.
2. У програмі передбачити наступні пункти:
  - a. Введення вихідних даних;
  - b. Обчислення параметрів процесу горіння і вивід їх у вікно проекту;
  - c. Вивід в текстовий файл результатів розрахунку разом з формулами, по яких вироблявся розрахунок;
  - d. Вихід з проекту.

Ці пункти оформити у вигляді пунктів меню або у вигляді вкладок сторінок.

3. У табличному редакторі MS Excel виконати контрольний розрахунок задачі і переконатися в правильності розрахунків.
4. Зберегти на дискі наступні файли:
  - a. Файли проекту – в окремому каталозі;
  - b. Файл контрольного розрахунку в MS Excel, що включає робочий лист з обчисленнями, робочий лист з формулами і діаграму;
  - c. Файл із пояснювальною запискою, набраний в редакторі MS Word.

## ВАРІАНТИ ВИХІДНИХ ДАНИХ

Рідке і тверде паливо

Варіант	Склад, % (маси)							$\alpha$	$d^{С.В.}$ г/м <sup>3</sup>	$t^{С.В.}$ , °С
	С <sup>р</sup>	Н <sup>р</sup>	О <sup>р</sup>	Н <sup>р</sup>	С <sup>р</sup>	А <sup>р</sup>	W <sup>р</sup>			
	<b>Мазут</b>									
1.	88,0	8,5	0,4	0,3	0,5	0,3	2,0	1,30	14,0	
2.	84,7	9,9	0,5	0,4	0,7	0,2	3,6	1,38	15,1	
3.	86,2	9,7	0,3	0,5	0,4	0,1	2,8	1,26		16
4.	87,0	8,6	0,2	0,3	0,6	0,3	3,0	1,37	13,2	
5.	84,6	10,7	0,4	0,4	0,3	0,2	3,4	1,34	13,9	
6.	87,6	8,3	0,5	0,4	0,5	0,1	2,6	1,27	15,3	
7.	86,9	9,2	0,3	0,3	0,7	0,3	2,3	1,32	15,4	
8.	85,5	10,3	0,2	0,4	0,5	0,2	2,9	1,29	13,4	
9.	87,9	8,0	0,4	0,5	0,6	0,1	2,5	1,36		15
	<b>Кокс</b>									
10.	91,8	1,3	1,1	1,3	1,1	0,4	3,0	1,46	15,2	
11.	95,1	0,6	0,8	0,9	0,6	0,2	1,8	1,48	13,9	
12.	93,6	1,0	0,9	1,1	0,7	0,3	2,4	1,52		17
13.	<b>Кам'яне вугілля</b>									
14.	79,3	5,2	1,0	0,8	0,5	8,6	4,6	1,50	13,3	
15.	83,9	3,8	0,9	1,2	0,8	5,6	3,8	1,47	14,5	
16.	81,7	4,1	1,2	1,1	0,7	7,7	3,5	1,49	15,8	
17.	79,8	5,0	0,8	1,3	0,6	8,4	4,1	1,45	13,8	
18.	83,2	4,5	1,3	1	0,5	6,7	2,8	1,51	12,9	
19.	82,4	4,9	1,1	0,9	0,7	6,9	3,1	1,44	14,1	
	<b>Торф</b>									
20.	49,1	6,1	6,5	0,8	0,1	6,2	31,2	1,51		10
21.	50,4	5,9	6,8	0,9	0,1	3,9	32,0	1,46	12,1	
22.	54,7	6,0	5,3	0,7	0,1	3,1	30,1	1,48	10,2	



## Природний газ

Варіант	Склад % (об'єму)								$\alpha$	$d^{С.Г.},$ г/м <sup>3</sup>	$t^{С.В.},$ °С
	CH <sub>4</sub> <sup>С.Г.</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> <sup>С.Г.</sup>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> <sup>С.Г.</sup>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> <sup>С.Г.</sup>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> <sup>С.Г.</sup>	H <sub>2</sub> S <sup>С.Г.</sup>	N <sub>2</sub> <sup>С.Г.</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>С.Г.</sup>			
23.	88,0	1,9	0,2	0,3			9,3	0,3	1,2	5,0	70
24.	76,7	4,5	1,7	0,8	0,6	1,0	14,5	0,2	1,3	5,0	60
25.	92,2	0,8		0,1			6,9		1,2	5,0	50
26.	94,0	4,5	0,7	0,4	0,2			0,2	1,15	5,0	30
27.	97,9			0,1			1,8	0,2	1,1	5,0	20
28.	97,9	0,5	0,2	0,1			1,2	0,1	1,15	5,0	70
29.	98,0	0,4	0,2				1,3	0,1	1,05	6,0	40
30.	93,5	4,0	1,0	0,5	0,5		0,4	0,1	1,1	5,0	20
31.	95,5	1,0	0,2	0,1			3,1	0,1	1,2	5,0	10
32.	97,5	0,6	0,3	0,2	0,2		1,1	0,1	1,1	5,0	30
33.	97,2	0,4	0,9	0,6	0,5		0,3	0,1	1,2	6,0	40
34.	91,7	5,4	1,2	0,7			1		1,2	6,0	70
35.	94,0	3,3	0,3	0,2			1,7	0,5	1,3	6,0	20
36.	86,43	4,84	1,48		0,452	1,267	4,95	0,581	1,2	6,0	60
37.	98,0						1,8	0,2	1,15	6,0	30
38.	97,7						1,6	0,7	1,1	6,0	40
39.	60,0						40,0		1,15	6,0	20
40.	97,9	0,5	0,2	0,05			1,3	0,05	1,05	6,0	10

Побудувати наступні діаграми.

- 1) для варіантів 1 ÷ 22 – діаграми, що відображують склад продуктів горіння при  $\alpha = 1$  і при  $\alpha > 1$ ;
- 2) для варіантів 23 ÷ 40 – діаграми, що відображують склад газу в сухому і в робочому стані.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теплотехника: Учеб. для вузов / А. П. Баскаков, Б. В. Берг, О. К. Витт и др.; Под ред. А. П. Баскакова, – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с: ил.
2. Белосельский Б.С. Технология топлива и энергетических масел: Учебник для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 340 с.
3. Гущин С.Н., Казяев М.Д. Расчеты горения топлив: Учеб. пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1995. – 38 с.
4. Григорьев К.А., Рундыгин Ю.А., Тринченко А.А. Технология сжигания органических топлив. Энергетические топлива: Учеб. пособие. СПб.:Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 92 с.
5. Методические указания по расчету горения газообразного топлива с применением ЭВМ (для студентов металлургических и энергетических специальностей) / Сост. Е.И.Казанцев, С.И.Гинкул, А.Н.Лебедев. – Донецк: ДПИ, 1988. – 24 с.
6. Архангельский А.Я. Язык Pascal и основы программирования в Delphi. Учебное пособие – М.:ООО "Бином-Пресс", 2004 г. – 496 с.
7. Методические указания и задания к лабораторным работам по алгоритмизации и программированию в среде Delphi (для студентов всех специальностей) / О.М.Копытова, Н. К. Шатохина. - Донецк: ДонНТУ, 2007. – 84 с.
8. Основи алгоритмізації і програмування в середовищі Delphi. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Основи інформаційних технологій і програмування» (для студентів денної форми навчання за напрямом підготовки : 6.050601 «Теплоенергетика») / Автори: Л.В. Славінська, Копитова О.М. - Донецьк: ДОННТУ, 2011 .- 110 с.

## ДОДАТОК А. ГРАФІК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

№п/п	Види робіт (найменування розділів)	Термін виконання (тиждень семестру)	Відмітка про виконання
1.	Введення. Постановка завдання	1-2	
2.	Контрольний приклад: розрахунки і формули	3-4	
3.	Побудова діаграми	5	
4.	Аналіз результатів	6	
5.	Структура даних і їх умовні позначення	7	
6.	Блок-схема алгоритму	8	

7.	Компоновка форм проекту	9	
8.	Складання і відладка програми	10-12	
9.	Оформлення пояснювальної записки	13-15	
11.	Захист курсової роботи	16-17	





## Додаток В.3. Реферат

### Реферат

ПАЛИВО, ГОРІННЯ, СТАН ПАЛИВА, ТЕПЛОТА ЗГОРАННЯ, ПРОДУКТИ ГОРІННЯ, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, АЛГОРИТМ, БЛОК-СХЕМА, ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТ PASCAL, EXCEL.

Сторінок – 20, малюнків -1, таблиць- 1, діаграм -1, джерел – 5 .

Об'єктом дослідження є процес горіння газоподібного палива заданого складу. Мета роботи:

- 1) розробка алгоритму і написання програми на мові Object Pascal, призначеної для розрахунку горіння природного газу, включаючи перерахунок палива на робочий стан, визначення кількості необхідного кисню, теоретичного і дійсного об'ємів повітря, теплоти згорання палива і перевірку матеріального балансу горіння;
- 2) розрахунок горіння за допомогою табличного редактора EXCEL; побудова в EXCEL діаграми, що відображає склад палива в сухому і робочому стані.

У пояснювальній записці представлено блок-схему та опис алгоритму розрахунку горіння; текст програми і результати її роботи; діаграми елементарного складу палива.

## Додаток В.4. Зміст

### Зміст

Введення.....	5
1. Постановка завдання.....	6
2. Контрольний приклад .....	8
3. Блок-схема алгоритму.....	9
4. Опис алгоритму.....	10
5. Характеристика даних і їх умовні позначення.....	11
6. Текст програми.....	12
7. Опис роботи програми.....	13
8. Діаграма складу палива в робочому стані.....	14
9. Аналіз результатів.....	15
Висновок.....	16
Список використаної літератури.....	17
Додаток.....	18

## Додаток В.5. Контрольний приклад

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка																															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q															
<b>Расчет горения газообразного топлива</b>																															
<i>Исходные данные</i>																															
d <sup>с.г.</sup>				α		t <sup>с.г.</sup> , °C		К																							
5				1,15		10		3,76																							
<b>Состав сухого газа (с.г.), %</b>																															
CO <sup>г</sup>		H <sub>2</sub> <sup>г</sup>		CH <sub>4</sub> <sup>г</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> <sup>г</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> <sup>г</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> <sup>г</sup>		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> <sup>г</sup>		C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> <sup>г</sup>		C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> <sup>г</sup>		H <sub>2</sub> S <sup>г</sup>		N <sub>2</sub> <sup>г</sup>		O <sub>2</sub> <sup>г</sup>		CO <sub>2</sub> <sup>г</sup>		SO <sub>2</sub> <sup>г</sup>		Σ			
0		0		98,00		0		0		0		0,9		0,8		0		0		0,3		0		0		0		100			
Таблица D.5																															
<b>Влагодержание сухого воздуха в зависимости от температуры</b>																															
t, °C		0		5		10		20		30		40		50		60		70													
d <sup>с.в.</sup> , г/м <sup>3</sup>		4,9		7		9,8		19		35,1		63,1		111,3		197		356													
<i>Вычисления</i>																															
<b>1. Пересчет на влажную массу</b>																															
H <sub>2</sub> O <sup>с.г.</sup> (%)				0,618													k=0,99382														
<b>Состав влажного рабочего газа (в.г.), %</b>																															
CO <sup>в</sup>		H <sub>2</sub> <sup>в</sup>		CH <sub>4</sub> <sup>в</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> <sup>в</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> <sup>в</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> <sup>в</sup>		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> <sup>в</sup>		C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> <sup>в</sup>		C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> <sup>в</sup>		H <sub>2</sub> S <sup>в</sup>		N <sub>2</sub> <sup>в</sup>		O <sub>2</sub> <sup>в</sup>		CO <sub>2</sub> <sup>в</sup>		SO <sub>2</sub> <sup>в</sup>		H <sub>2</sub> O <sup>в</sup>		Σ	
0		0		97,394		0		0		0		0,894		0,795		0		0		0,298		0		0		0		0,618		100	
Кэф-ты																															
V(O <sub>2</sub> ):		0,5		0,5		2,0		3,0		2,5		3,5		5,0		6,5		9,0		1,5											
Q <sub>в</sub> :		127,7		108		358		590		555		636		913		1185		1465		234											
V <sub>в</sub> (H <sub>2</sub> O):		1		2		2		1		3		4		5		6		1										1			
V <sub>в</sub> (CO <sub>2</sub> ):		1		1		2		2		2		3		4		5				1											
V <sub>в</sub> (SO <sub>2</sub> ):																		1						1							
<b>2. Расчет количества кислорода и воздуха для сжигания 1 м<sup>3</sup> газа</b>																															
V <sub>O<sub>2</sub></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		2,044				d <sup>с.г.</sup>		[г/м <sup>3</sup> ]=		9,800				Q <sub>в</sub>		[кДж/м <sup>3</sup> ]=		36626											
L <sub>O<sub>2</sub></sub> <sup>с.г.</sup>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		9,731				L <sub>O<sub>2</sub></sub> <sup>с.в.</sup>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		9,849																			
L <sub>а<sup>с.г.</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		11,190				L <sub>а<sup>с.в.</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		11,326																			
<b>3. Расчет объема продуктов горения 1 м<sup>3</sup> газа</b>																															
<b>α = 1</b>																															
V <sub>O<sub>2</sub></sub> <sup>топ</sup>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		1,033				V <sub>а<sup>топ</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		1,033																			
V <sub>а<sup>топ</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		0,000				V <sub>а<sup>топ</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		0,000																			
V <sub>а<sup>топ</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		2,030				V <sub>а<sup>топ</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		2,166																			
V <sub>а<sup>топ</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		7,689				V <sub>а<sup>топ</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		8,842																			
V <sub>а<sup>топ</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		10,752				V <sub>а<sup>топ</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		0,307																			
		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		12,35				V <sub>а<sup>топ</sup></sub>		[м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ]=		12,35																			
<b>α = 1,15</b>																															

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка																			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q			
<b>4. Расчет процентного состава продуктов горения 1 м<sup>3</sup> газа</b>																			
<b>α = 1</b>																			
CO <sub>2</sub> =		9,60%				CO <sub>2</sub> а=		8,36%											
SO <sub>2</sub> =		0,00%				SO <sub>2</sub> а=		0,00%											
H <sub>2</sub> O=		18,88%				H <sub>2</sub> O а=		17,54%											
N <sub>2</sub> =		71,52%				N <sub>2</sub> а=		71,61%											
Σ=		100,00%				O <sub>2</sub> изб.=		2,48%											
						Σ=		100,00%											
<b>4. Материальный баланс горения (при сжигании V=100 м<sup>3</sup> газа):</b>																			
V [м <sup>3</sup> ]=		100																	
<b>Приход</b>																			
<b>Расход</b>																			
Природный газ				Продукты горения				Таблица D.4											
CO <sup>в</sup>		CO		0,000		28		CO <sub>2</sub> а=		CO <sub>2</sub>		8,36%		44		CO		28	
H <sub>2</sub> <sup>в</sup>		H <sub>2</sub>		0,000		2		SO <sub>2</sub> а=		SO <sub>2</sub>		0,00%		64		CO <sub>2</sub>		44	
CH <sub>4</sub> <sup>в</sup>		CH <sub>4</sub>		97,394		16		H <sub>2</sub> O а=		H <sub>2</sub> O		17,54%		18		H <sub>2</sub>		2	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> <sup>в</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		0,000		28		N <sub>2</sub> а=		N <sub>2</sub>		71,61%		28		H <sub>2</sub> O		18	
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> <sup>в</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>		0,000		26		O <sub>2</sub> изб.=		O <sub>2</sub>		2,48%		32		N <sub>2</sub>		28	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> <sup>в</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>		0,000		30		Σ=		Σ=		100,00%				O <sub>2</sub>		32	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> <sup>в</sup>		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>		0,894		44		масса продуктов горения, кг		1525,959						SO <sub>2</sub>		64	
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> <sup>в</sup>		C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>		0,795		58													
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> <sup>в</sup>		C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>		0,000		72													
H <sub>2</sub> S <sup>в</sup>		H <sub>2</sub> S		0,000		34													
N <sub>2</sub> <sup>в</sup>		N <sub>2</sub>		0,298		28													
O <sub>2</sub> <sup>в</sup>		O <sub>2</sub>		0,000		32													
CO <sub>2</sub> <sup>в</sup>		CO <sub>2</sub>		0,000		44													
SO <sub>2</sub> <sup>в</sup>		SO <sub>2</sub>		0,000		64													
H <sub>2</sub> O <sup>в</sup>		H <sub>2</sub> O		0,618		18													
Σ=		Σ=		100,0															
		масса топлива, кг =		74,252															
<b>Воздух</b>																			
кводд=		0,988																	
H <sub>2</sub> O <sup>с.в.</sup> (%)		H <sub>2</sub> O		1,205		18													
O <sub>2</sub> <sup>с.в.</sup> (%)		O <sub>2</sub>		20,747		32													
N <sub>2</sub> <sup>с.в.</sup> (%)		N <sub>2</sub>		78,048		28													
Σ=		Σ=		100,0															
		масса воздуха, кг =		1451,667															
		Итого, кг:		1525,920															
Невязка:		Δm/mg=		0,003%															

Рабочий лист 3 обчисленнями

Расчет горения газообразного топлива										
Исходные данные										
$d^{c.p.}$	$\alpha$	$t^{c.p.}, ^\circ C$			K					
5	1,15	10			3,76					
Состав сухого газа (с.г.), %										
$CO^c$	$H_2^c$	$CH_4^c$			$C_2H_4^c$	$C_2H_2^c$	$C_2H_6^c$	$C_3H_8^c$		
0	0	98			0	0	0	0,9		
Таблица Д.5										
Влажность сухого воздуха в зависимости от температуры										
$t, ^\circ C$	0			5	10	20	30	40	50	
$d^{c.в.}, г/м^3$	4,9	7			9,8	19	35,1	63,1	111,3	
Вычисления										
1. Пересчет на влажную массу										
$H_2O^{c.в.} = (\%) = 100 \cdot d.c.г. / (803,6)$					$k = (100 - H_2O^в)$					
Состав влажного рабочего газа (в.г.), %										
$CO^{в.г.}$	$H_2^{в.г.}$	$CH_4^{в.г.}$			$C_2H_4^{в.г.}$	$C_2H_2^{в.г.}$	$C_2H_6^{в.г.}$	$C_3H_8^{в.г.}$		
$=k \cdot B7$	$=k \cdot C7$	$=k \cdot D7$			$=k \cdot E7$	$=k \cdot F7$	$=k \cdot G7$	$=k \cdot H7$		
Коэф-ты										
$V(O_2)$	0,5	0,5	2			3	2,5	3,5	5	6,5
Qпр:	127,7	108	358			590	555	636	913	1185
$V_0(H_2O)$	1		2			2	1	3	4	
$V_0(CO_2)$	1		1			2	2	2	3	
$V_0(SO_2)$									4	
2. Расчет количества кислорода и воздуха для сжигания 1 м3 газа										
$V_{O_2}$	$[м3/м3] = 0,01 \cdot \text{СУММПРОИЗВ}(B21:O21; B19:O19)$				$d^{c.в.}$	$[г/м3] = \text{ПРОСМОТР}(тс.в.; C11:N11; C12:N12)$				
$L_0^{c.в.}$	$[м3/м3] = 4,76 \cdot V_{O_2}$				$L_0^{c.в.}$	$[м3/м3] = (1 + 0,00124 \cdot d.c.в.) \cdot L_0_{cв}$				
$L_0^{c.в.}$	$[м3/м3] = \alpha \cdot L_0_{cв}$				$L_0^{c.в.}$	$[м3/м3] = \alpha \cdot L_0_{вв}$				
3. Расчет объема продуктов горения 1 м3 газа										
$\alpha = 1$					$\alpha = 1,15$					
$V_0^{CO_2}$	$[м3/м3] = 0,01 \cdot \text{СУММПРОИЗВ}(B24:P24; \$B\$19:\$P\$19)$				$V_0^{CO_2}$	$[м3/м3] = V_0_{CO_2}$				
$V_0^{SO_2}$	$[м3/м3] = 0,01 \cdot \text{СУММПРОИЗВ}(B25:P25; \$B\$19:\$P\$19)$				$V_0^{SO_2}$	$[м3/м3] = V_0_{SO_2}$				
$V_0^{H_2O}$	$[м3/м3] = 0,01 \cdot \text{СУММПРОИЗВ}(B23:P23; \$B\$19:\$P\$19)$				$V_0^{H_2O}$	$[м3/м3] = V_0_{H_2O} + 0,00124 \cdot d.c.в. \cdot L_0_{вв} / (1 + 0$				
$V_0^{H_2}$	$[м3/м3] = 0,01 \cdot N_2^{в.г.} + 3,76 \cdot V_{O_2}$				$V_0^{H_2}$	$[м3/м3] = 0,01 \cdot N_2^{в.г.} + \alpha \cdot 3,76 \cdot V_{O_2}$				
$V_0$	$[м3/м3] = \text{СУММ}(D34:D37)$				$V_{O_2}$ изб.	$[м3/м3] = (\alpha - 1) \cdot V_{O_2}$				
					$V_0$	$[м3/м3] = \text{СУММ}(H34:H38)$				

а (с.г.), %										
$CH_4^{с.г.}$	$C_2H_4^{с.г.}$	$H_2^{с.г.}$	$N_2^{с.г.}$			$O_2^{с.г.}$	$CO_2^{с.г.}$	$SO_2^{с.г.}$	$\Sigma$	
0,8	0	0	0,3			0			=СУММ(B7:O7)	
50	60	70								
111,3	197	356								
Вычисления										
рабочего газа (в.г.), %										
$CH_4^{в.г.}$	$C_2H_4^{в.г.}$	$H_2^{в.г.}$	$N_2^{в.г.}$			$O_2^{в.г.}$	$CO_2^{в.г.}$	$SO_2^{в.г.}$	$H_2O^{в.г.}$	$\Sigma$
$=k \cdot I7$	$=k \cdot J7$	$=k \cdot K7$	$=k \cdot L7$			$=k \cdot M7$	$=k \cdot N7$	$=k \cdot O7$	$=H_2O^{в.г.}$	$=СУММ(B19:P19)$
6,5	8	1,5								
1185	1465	234								
4	5	1					1	1		
5	6	1							1	
4	5						1			
		1						1		
Qпр [кДж/м3] = СУММПРОИЗВ(B19:K19; B22:K22)										

Рабочий лист з формулами

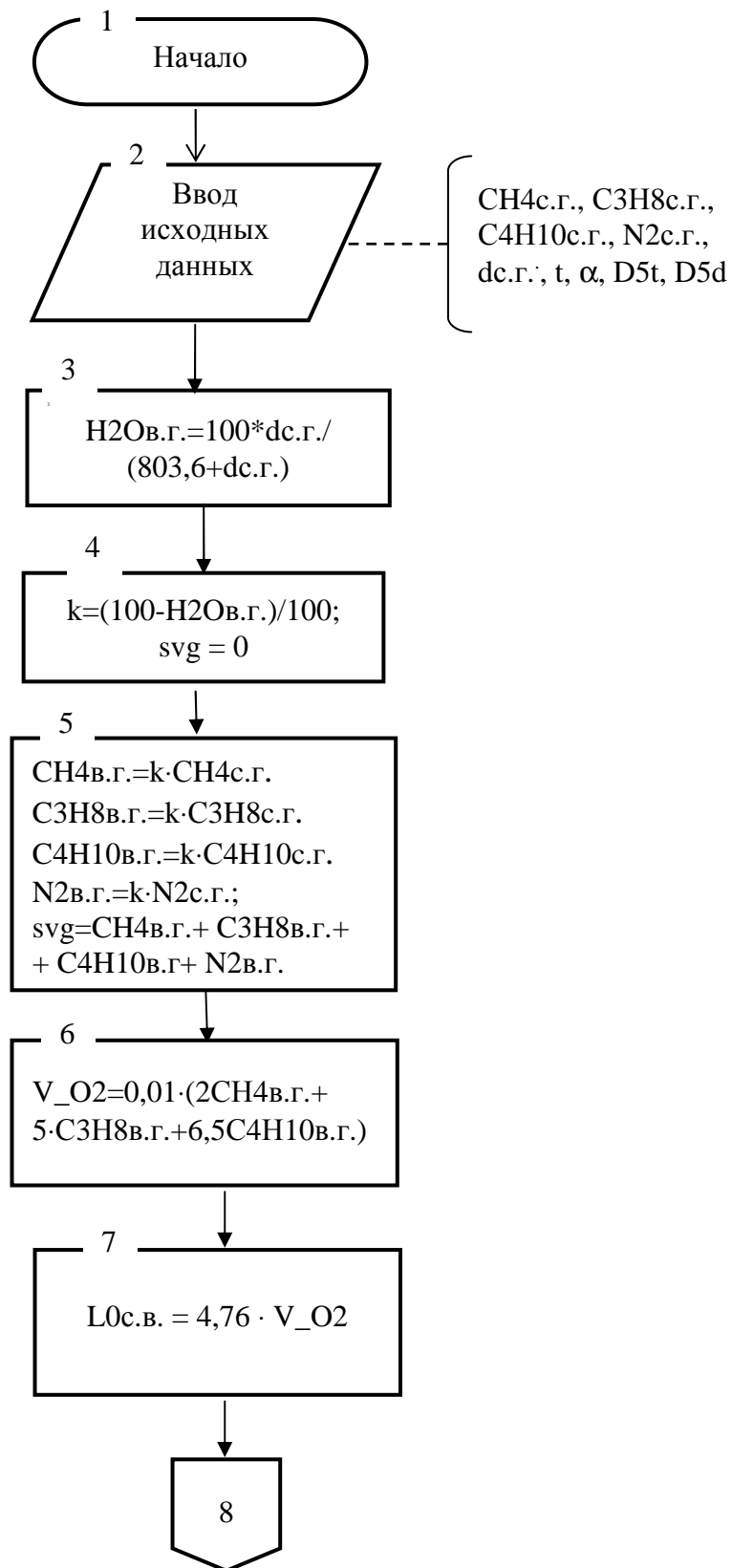


4. Расчет процентного состава продуктов горения 1 м <sup>3</sup> газа				α = 1,15			
α = 1				α = 1,15			
CO <sub>2</sub> = V <sub>0</sub> CO <sub>2</sub> / V <sub>0</sub>				CO <sub>2 a</sub> = V <sub>a</sub> CO <sub>2</sub> / V <sub>a</sub>			
SO <sub>2</sub> = V <sub>0</sub> SO <sub>2</sub> / V <sub>0</sub>				SO <sub>2 a</sub> = V <sub>a</sub> SO <sub>2</sub> / V <sub>a</sub>			
H <sub>2</sub> O = V <sub>0</sub> H <sub>2</sub> O / V <sub>0</sub>				H <sub>2</sub> O <sub> a</sub> = V <sub>a</sub> H <sub>2</sub> O / V <sub>a</sub>			
N <sub>2</sub> = V <sub>0</sub> N <sub>2</sub> / V <sub>0</sub>				N <sub>2 a</sub> = V <sub>a</sub> N <sub>2</sub> / V <sub>a</sub>			
Σ = СУММ(C42:C45)				O <sub>2 изб.</sub> = V <sub>0</sub> O <sub>2 изб.</sub> / V <sub>a</sub>			
Σ = СУММ(G42:G46)							
4. Интервальный баланс горения (при сжигании V=100 м <sup>3</sup> газа):							
V [м <sup>3</sup> ] = 100							
Приход				Расход			
Природный газ				Продукты го			
%				%			
молекулярная масса				молекулярная масса			
CO <sup>пр</sup>	CO	=B20	28	CO <sub>2 a</sub>	CO <sub>2</sub>	=Va CO <sub>2</sub> /Va	
H <sub>2</sub> <sup>пр</sup>	H <sub>2</sub>	=C19	2	SO <sub>2 a</sub>	SO <sub>2</sub>	=Va SO <sub>2</sub> /Va	
CH <sub>4</sub> <sup>пр</sup>	CH <sub>4</sub>	=D19	16	H <sub>2</sub> O <sub> a</sub>	H <sub>2</sub> O	=Va H <sub>2</sub> O/Va	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> <sup>пр</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	=E19	28	N <sub>2 a</sub>	N <sub>2</sub>	=Va N <sub>2</sub> /Va	
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> <sup>пр</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	=F19	26	O <sub>2 изб.</sub>	O <sub>2</sub>	=V O <sub>2 изб.</sub> /Va	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> <sup>пр</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	=G19	30	Σ		=СУММ(H53:H57)	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> <sup>пр</sup>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	=H19	44	масса продуктов горения,			
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> <sup>пр</sup>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	=I19	58				
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> <sup>пр</sup>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	=J19	72				
H <sub>2</sub> S <sup>пр</sup>	H <sub>2</sub> S	=K19	34				
N <sub>2</sub> <sup>пр</sup>	N <sub>2</sub>	=M2 вл	28				
O <sub>2</sub> <sup>пр</sup>	O <sub>2</sub>	=M19	32				
CO <sub>2</sub> <sup>пр</sup>	CO <sub>2</sub>	=N19	44				
SO <sub>2</sub> <sup>пр</sup>	SO <sub>2</sub>	=O19	64				
H <sub>2</sub> O <sup>пр</sup>	H <sub>2</sub> O	=P19	18				
Σ		=СУММ(C53:C67)					
масса топлива, кг = СУММПРОИЗВ(C53:C67;D53:D67)/100/22,4*V							
Воздух							
кводд	= (100-C73)/100						
%				молекулярная масса			
H <sub>2</sub> O <sup>в.в.</sup> (%)	H <sub>2</sub> O	=дс.в.*100/(803,	18				
O <sub>2</sub> <sup>в.в.</sup> (%)	O <sub>2</sub>	=кводд*21	32				
N <sub>2</sub> <sup>в.в.</sup> (%)	N <sub>2</sub>	=кводд*79	28				
Σ		=СУММ(C73:C75)					
масса воздуха, кг = СУММПРОИЗВ(C73:C75;D73:D75)/100/22,4*V*La_вв							
Итого, кг: =D69+D77							
Невязка:	Δm/mg =	=ABS(D78-I59)/I5					

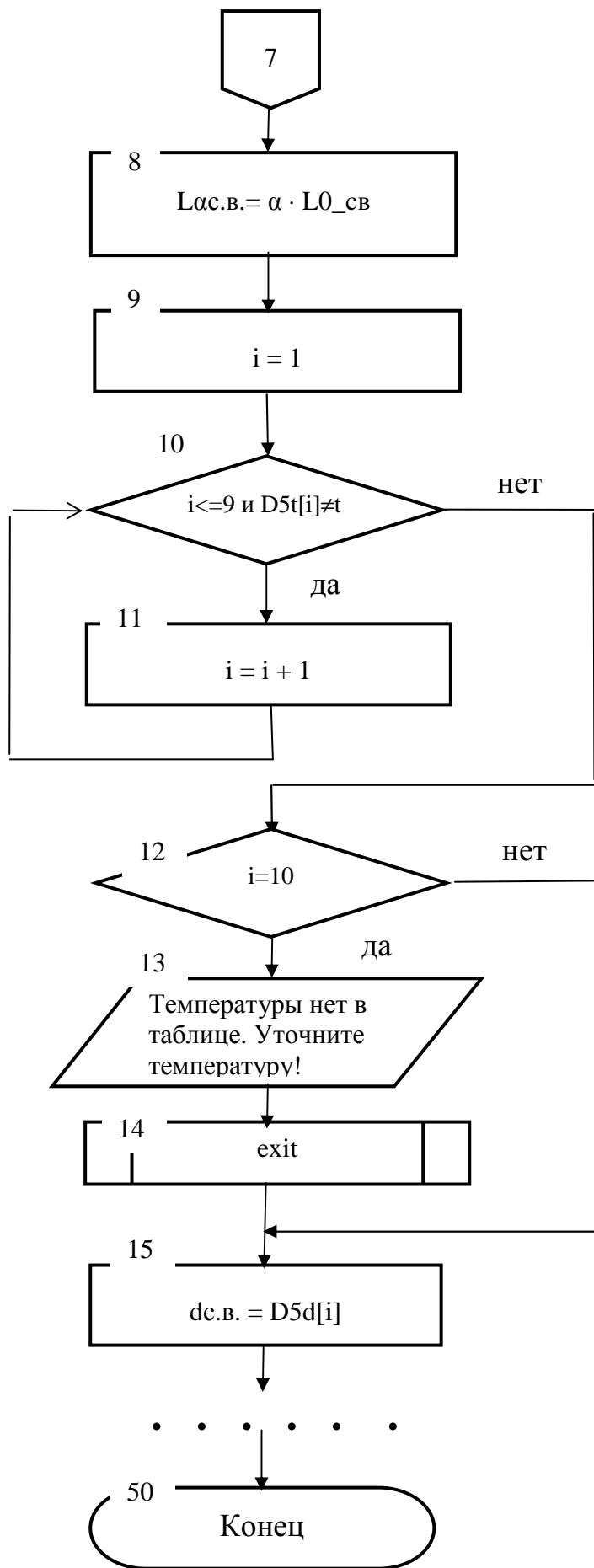
Таблица D.4	
молекулярная масса	молекулярная масса
=ПРОСМОТР(G53;K\$53:K\$59;L\$53:L\$59)	CO 28
=ПРОСМОТР(G54;K\$53:K\$59;L\$53:L\$59)	CO <sub>2</sub> 44
=ПРОСМОТР(G55;K\$53:K\$59;L\$53:L\$59)	H <sub>2</sub> 2
=ПРОСМОТР(G56;K\$53:K\$59;L\$53:L\$59)	H <sub>2</sub> O 18
=ПРОСМОТР(G57;K\$53:K\$59;L\$53:L\$59)	N <sub>2</sub> 28
	O <sub>2</sub> 32
=СУММПРОИЗВ(H53:H57;I53:I57)/22,4*Va_вв	SO <sub>2</sub> 64

Рабочий лист з формулами (продовження)

## Додаток В.6. Блок-схема алгоритма



Блок-схема алгоритма (продовження)



## Додаток В.7. Опис алгоритму

Блок-схема алгоритму включає наступні блоки:

1. Початок алгоритму.
2. Введення вихідних даних CH<sub>4</sub>с.г., C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>с.г., C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>с.г., N<sub>2</sub>с.г., dc.г., t, α. Таблицю D.5 задаємо у вигляді 2-х одновимірних масивів: D5t (масив температур) і D5d (вміст вологи).
3. Обчислення процентного вмісту водяної пари в 1 м<sup>3</sup> природного газу при заданому вмісту вологи dc.г. г/м<sup>3</sup> сухого газу.
4. Визначення коефіцієнта перерахунку з сухого газу на вологий.
5. Перерахунок складу газу на робочу масу і обчислення суми svg відсотків – для перевірки.
6. Обчислення V<sub>O2</sub> – об'єму кисню для горіння 1 м<sup>3</sup> газу.
7. Обчислення L<sub>0</sub>с.в. – теоретично необхідної кількості сухого повітря при α=1.
8. Обчислення L<sub>б</sub>с.в. – практично введеної кількості сухого повітря при α=1,15.
- 9 – 15. Визначення по таблиці D.5 вмісту вологи dc.в. атмосферного повітря.

. . . . .

50.Кінець алгоритму.

## Додаток В.8. Характеристика даних та їх умовні позначення

№ п/п	Найменування даних і одиниця виміру	Позначення в блок-схемі	Позначення в програмі	Тип змінної
1	Склад природного газу в сухому стані %	Ch <sub>4</sub> с.г. C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> с.г. C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> с.г. N <sub>2</sub> с.г.	CH <sub>4</sub> C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	real real real real
2	Склад природного газу у вологому стані %	Ch <sub>4</sub> в.г. C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> в.г. C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> в.г. N <sub>2</sub> в.г.	CH <sub>4</sub> v C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> v C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> v N <sub>2</sub> v	real real real real
3	Таблиця D.5 – 2 рядки: D5t – масив температур, °C D5d – вміст вологи, г/м <sup>3</sup>	D5t  D5d	D5t  D5d	array[1..9]of integer array[1..9]of real
4	Вміст водяних паров у сухому газі, %	dc.г.	dsg	real
5	...	...	...	...

## Додаток В.9. Текст програми

### Основний модуль

```
unit U_main;          // головний модуль
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, Menus, ComCtrls;
const K=3.76;
      ns=14;
      nv=15;
type mas_s=array[1..ns]of real;
      mas_v=array[1..nv]of real;
var
// таблиця D.5
  D5t:array[1..9]of integer=(0,5,10,20,30,40,50,60,70); //температура
  D5d:array[1..9]of real=(4.9, 7, 9.8, 19, 35.1, 63.1, 111.3, 197,
                        356); //влагосодержание
// масиви коефіцієнтів
KV_O2:mas_v=(0.5,0.5,2.0,3.0,2.5,3.5,5.0,6.5,8.0,1.5,0,0,0,0,0);
KQ:mas_v=(127.7,108,358,590,555,636,913,1185,1465,234,0,0,0,0,0);
KV0_CO2:mas_v=(1,0,1,2,2,2,3,4,5,0,0,0,1,0,0);
KV0_SO2:mas_v=(0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,1,0);
KV0_H2O:mas_v=(0,1,2,2,1,3,4,5,6,1,0,0,0,0,1);
SG:mas_v; //VG -масив процентного содержания сухого газа
VG:mas_v; //VG -масив процентного содержания влажного газа
// процентный состав сухого и влажного с буквой (v) газа:
CO,COv,H2,H2v,CH4,CH4v,C2H4,C2H4v,C2H2,C2H2v,C2H6,C2H6v,C3H8,C3H8v,
C4H10,C4H10v,C5H12,C5H12v,CO2,CO2v,N2,N2v,O2,O2v,SO2,SO2v,H2S,H2Sv,
H2O,H2Ov: real;
// dsг-влагосодерж-е сухого газа, dsv-влагосодерж-е сухого воздуха
// t - температура воздуха; alfa - коэффициент избытка воздуха
// Ssg, Svg - суммы процентов для сухого и влажного газов
dsг,dsv,t,alfa,Ssg,Svg:real;
// процентный состав продуктов сгорания при alfa=1(с буквой g):
CO2g,SO2g,H2Og,N2g:real;
// процентный состав продуктов сгорания при alfa>1(с буквами ga):
CO2ga,SO2ga,H2Oga,N2ga,O2_izb:real;
// gas - массив имен газов; MM - массив молекулярных масс
gas:array[1..nv]of string=('CO','H2','CH4','C2H4','C2H2','C2H6',
                        'C3H8','C4H10','C5H12','H2S','N2','O2','CO2','SO2','H2O');
MM:mas_v=(28,2,16,28,26,30,44,58,72,34,28,32,44,64,18);
fname:string; // имя файла с решением задачи расчета горения
f:Textfile; // файловая переменная
type
  TForm_main = class(TForm)
    MainMenu1: TMainMenu;
    N1: TMenuItem;
    N2: TMenuItem;
    N4: TMenuItem;
    N5: TMenuItem;
    procedure N1Click(Sender: TObject);
    procedure N5Click(Sender: TObject);
    procedure N2Click(Sender: TObject);
    procedure N4Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
```

```

        { Public declarations }
    end;
var
    Form_main: TForm_main;
implementation
uses u_ish_dan, u_rez, U_resh;

{$R *.DFM}

// процедуры обработки пунктов меню

procedure TForm_main.N1Click(Sender: TObject);
begin
    //Вывод формы на экран
    Form_ish_dan.Show;
end;

procedure TForm_main.N5Click(Sender: TObject);
begin
    close
end;

procedure TForm_main.N2Click(Sender: TObject);
begin
    Form_rez.Show;
end;

procedure TForm_main.N4Click(Sender: TObject);
begin
    Form_resh.Show
end;

end.

```

### **Модуль введення вихідних даних і перерахунку на вологий газ**

```

unit U_ish_dan;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
    Dialogs,
    StdCtrls, Buttons, ExtCtrls;

type
    TForm_ish_dan = class(TForm)
        Edit_dsg: TEdit;
        Label14: TLabel;
        Edit_alfa: TEdit;
        Label25: TLabel;
        Edit_t: TEdit;
        Label63: TLabel;
        Label64: TLabel;
        Edit_dsv: TEdit;
        BitBtn_vg: TBitBtn;
        GroupBox1: TGroupBox;
    end;

```

```

    BitBtn_clear_ish: TBitBtn;
    BitBtn_close_ish: TBitBtn;
    Label68: TLabel;
    procedure BitBtn_close_ishClick(Sender: TObject);
    procedure BitBtn_clear_ishClick(Sender: TObject);
    procedure BitBtn_vgClick(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;
var
    Form_ish_dan: TForm_ish_dan;
implementation
uses u_main, u_rez;

{$R *.DFM}
//=====
//                                     закрытие формы
//=====
procedure TForm_ish_dan.BitBtn_close_ishClick(Sender: TObject);
begin
close
end;

//=====
//                                     очистка полей
//=====
procedure TForm_ish_dan.BitBtn_clear_ishClick(Sender: TObject);
begin
Edit_CO.Text:='0';
Edit_H2.Text:='0';
Edit_CH4.Text:='0';
Edit_C2H4.Text:='0';
Edit_C2H2.Text:='0';
. . . . .
//=====
Edit_COv.Text:='0';
Edit_H2v.Text:='0';
Edit_CH4v.Text:='0';
Edit_C2H4v.Text:='0';
Edit_C2H2v.Text:='0';
. . . . .
//=====
Edit_dsg.Text:='0';
Edit_dsv.Text:='0';
Edit_t.Text:='0';
Edit_alfa.Text:='0';
Edit_Ssg.Text:='0';
Edit_Svg.Text:='0';
end; // clear

```

```

//=====
//                пересчет на влажный газ
//=====
procedure TForm_ish_dan.BitBtn_vgClick(Sender: TObject);
var
    koef:real; // коэф-т пересчета сухого состава на влажный
    i:integer;
begin
    ssg:=0; //сумма процентов для сухого газа
    svg:=0; //сумма процентов для влажного газа
    //===== ввод исходных данных=====
    CO:=strtofloat(Edit_CO.Text);           Ssg:=ssg+CO;
    H2:=strtofloat(Edit_H2.Text);           Ssg:=ssg+H2;
    CH4:=strtofloat(Edit_CH4.Text);          Ssg:=ssg+CH4;
    C2H2:=strtofloat(Edit_C2H2.Text);        Ssg:=ssg+C2H2;
    C2H4:=strtofloat(Edit_C2H4.Text);        Ssg:=ssg+C2H4;
    C2H6:=strtofloat(Edit_C2H6.Text);        Ssg:=ssg+C2H6;
    C3H8:=strtofloat(Edit_C3H8.Text);        Ssg:=ssg+C3H8;
    C4H10:=strtofloat(Edit_C4H10.Text);      Ssg:=ssg+C4H10;
    C5H12:=strtofloat(Edit_C5H12.Text);     Ssg:=ssg+C5H12;
    CO2:=strtofloat(Edit_CO2.Text);          Ssg:=ssg+CO2;
    N2:=strtofloat(Edit_N2.Text);            Ssg:=ssg+N2;
    O2:=strtofloat(Edit_O2.Text);            Ssg:=ssg+O2;
    SO2:=strtofloat(Edit_SO2.Text);          Ssg:=ssg+SO2;
    H2S:=strtofloat(Edit_H2S.Text);          Ssg:=ssg+H2S;
    dsg:=strtofloat(Edit_dsg.Text);
    t:=strtofloat(Edit_t.Text);
    alfa:=strtofloat(Edit_alfa.Text);
    Edit_Ssg.Text:=formatfloat('##0',Ssg);
    If (abs(Ssg-100)>1E-6) then begin
        ShowMessage('Сухой состав не равен 100%. Исправьте!');
        Exit
    end;

    //===== пересчет на влажный газ =====
    H2Ov:=100*dsg/(803.6+dsg);
    koef:=(100-H2Ov)/100;
    COv:=koef*CO;           SG[1]:=CO;           VG[1]:=COv;
    H2v:=koef*H2;           SG[2]:=H2;           VG[2]:=H2v;
    CH4v:=koef*CH4;         SG[3]:=CH4;          VG[3]:=CH4v;
    C2H2v:=koef*C2H2;       SG[4]:=C2H2;         VG[4]:=C2H2v;
    C2H4v:=koef*C2H4;       SG[5]:=C2H4;         VG[5]:=C2H4v;
    C2H6v:=koef*C2H6;       SG[6]:=C2H6;         VG[6]:=C2H6v;
    C3H8v:=koef*C3H8;       SG[7]:=C3H8;         VG[7]:=C3H8v;
    C4H10v:=koef*C4H10;     SG[8]:=C4H10;        VG[8]:=C4H10v;
    C5H12v:=koef*C5H12;     SG[9]:=C5H12;        VG[9]:=C5H12v;
    CO2v:=koef*CO2;         SG[10]:=CO2;         VG[10]:=CO2v;
    N2v:=koef*N2;           SG[11]:=N2;          VG[11]:=N2v;
    O2v:=koef*O2;           SG[12]:=O2;          VG[12]:=O2v;
    SO2v:=koef*SO2;         SG[13]:=SO2;         VG[13]:=SO2v;
    H2Sv:=koef*H2S;         SG[14]:=H2S;         VG[14]:=H2Sv;
                                                                    VG[15]:=H2Ov;

    //=== вывод влажного состава =====
    Edit_COv.Text:=formatfloat('##0.00',COv);           svg:=svg+COv;
    Edit_H2v.Text:=formatfloat('##0.00',H2v);           svg:=svg+H2v;
    Edit_CH4v.Text:=formatfloat('##0.00',CH4v);         svg:=svg+CH4v;
    Edit_C2H2v.Text:=formatfloat('##0.00',C2H2v);       svg:=svg+C2H2v;
    Edit_C2H4v.Text:=formatfloat('##0.00',C2H4v);       svg:=svg+C2H4v;

```



```

Edit_C2H6v.Text:=formatfloat('##0.00',C2H6v);      svg:=svg+C2H6v;
Edit_C3H8v.Text:=formatfloat('##0.00',C3H8v);      svg:=svg+C3H8v;
Edit_C4H10v.Text:=formatfloat('##0.00',C4H10v);    svg:=svg+C4H10v;
Edit_C5H12v.Text:=formatfloat('##0.00',C5H12v);    svg:=svg+C5H12v;
Edit_CO2v.Text:=formatfloat('##0.00',CO2v);        svg:=svg+CO2v;
Edit_N2v.Text:=formatfloat('##0.00',N2v);          svg:=svg+N2v;
Edit_O2v.Text:=formatfloat('##0.00',O2v);          svg:=svg+O2v;
Edit_SO2v.Text:=formatfloat('##0.00',SO2v);        svg:=svg+SO2v;
Edit_H2Sv.Text:=formatfloat('##0.00',H2Sv);        svg:=svg+H2Sv;
Edit_H2Ov.Text:=formatfloat('##0.000',H2Ov);       svg:=svg+H2Ov;
Edit_Svg.Text:=formatfloat('##0',Svg);
If (abs(Svg-100)>1E-6) then begin
    ShowMessage('Влажный состав не равен 100%. Ошибка в выч-ях!');
    Exit
end;
//=====
//  Выч-ние по табл. D.5  влагосодержания сухого воздуха
//=====
i:=1;
while (i<9) and (D5t[i]<>t) do inc(i);
if i=9 then
    begin
        showmessage ('Температуры нет в таблице. Уточните темпер-ру');
        exit
    end;
dsv:=D5d[i];
Edit_dsv.Text:=formatfloat('##0.00',dsv);
//включение кнопок
Form_rez.BitBtn_calc.Enabled:=True;

end;

end.

```

### **Модуль обчислення результату ( результат виводиться у форму і зберігається у файл)**

```

unit U_rez;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
    Dialogs, StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, Grids;

type
    TForm_rez = class(TForm)
        GroupBox1: TGroupBox;
        Label1: TLabel;
        . . . . .
        Mem1: TMemo;
        SaveDialog1: TSaveDialog;
        procedure BitBtn_close_rezClick(Sender: TObject);
        procedure BitBtn_calcClick(Sender: TObject);
    end;

```

```

    procedure BitBtn_saveClick(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    Form_rez: TForm_rez;

implementation

uses u_main, u_ish_dan;

var Q:real; //теплота сгорания топлива
    V_O2,L0sv,Lasv,L0vv,Lavv:real;
    V0_CO2,V0_SO2,V0_H2O,V0_N2,V0:real;
    Va_CO2,Va_SO2,Va_H2O,Va_N2,V_O2_izb,Va:real;
    Sproc:real; //сумма процентов дымовых газов
// плотности топлива (r_topl), влажного воздуха (r_vozd)
// и продуктов горения (r_gor)
    r_topl,r_vozd,r_gor:real;
// массы топлива (M_topl), воздуха (M_vozd) и продуктов горения (M_gor)
    M_topl,M_vozd,M_gor:real;
    V:real; // объем сжигаемого газа (при подсчете матер-го баланса)
    H2Ovv,O2vv,N2vv:real; //процентный сотав влажного атм. воздуха
    koef_vozd:real; //коэф-т для пересчета сухого воздуха на влажный
    prihod:real; // матер-ный баланс: приход, кг
    neviazka:real; // невязка
{$R *.DFM}

procedure TForm_rez.BitBtn_close_rezClick(Sender: TObject);
begin
close
end;

procedure TForm_rez.BitBtn_calcClick(Sender: TObject);
var
    i:integer;
begin
    // ===== расчет объемов =====
    // V_O2 - объем кислорода
    // L0sv - теорет-кий объем сухого воздуха
    // L0vv - теорет-кий объем влажного воздуха
    // Lasv - действит-ный объем сухого воздуха
    // Lavv - действит-ный объем влажного воздуха
    //=====
    V_O2:=0;
    for i:=1 to ns do
        V_O2:= V_O2 + KV_O2[i]*VG[i];
    V_O2:= 0.01*V_O2;
    L0sv:=V_O2*4.76;
    Lasv:=alfa*L0sv;
    L0vv:=(1+0.00124*dsv)* L0sv;
    Lavv:=alfa*L0vv;
// вывод объемов
    Edit_V_O2.Text:= FormatFloat('##0.000',V_O2);
    Edit_L0sv.Text:= FormatFloat('##0.000',L0sv);

```

```

Edit_Lasv.Text:= FormatFloat('##0.000',Lasv);
Edit_L0vv.Text:= FormatFloat('##0.000',L0vv);
Edit_Lavv.Text:= FormatFloat('##0.000',Lavv);
//=====
//      расчет и вывод теплоты сгорания
//=====
Q:=0;
for i:=1 to 9 do Q:=Q+KQ[i]*VG[i];
Edit_Q.Text:= FormatFloat('#####0.0',Q);
//=====
//      расчет объема продуктов горения 1 м3 газа при alfa=1
//=====
V0_CO2:=0;
V0_SO2:=0;
V0_H2O:=0;
for i:=1 to nv do begin
    V0_CO2:= V0_CO2 + KV0_CO2[i]*VG[i];
    V0_SO2:= V0_SO2 + KV0_SO2[i]*VG[i];
    V0_H2O:= V0_H2O + KV0_H2O[i]*VG[i];
end;
V0_CO2:=0.01*V0_CO2;
V0_SO2:=0.01*V0_SO2;
V0_H2O:=0.01*V0_H2O;
V0_N2:=0.01*N2V+3.76*V_O2;
V0:=V0_CO2+ V0_SO2+V0_H2O+V0_N2;
//      ВЫВОД
Edit_VCO2g.Text:= FormatFloat('##0.000',V0_CO2);
Edit_VSO2g.Text:= FormatFloat('##0.000',V0_SO2);
Edit_VH2Og.Text:= FormatFloat('##0.000',V0_H2O);
Edit_VN2g.Text:= FormatFloat('##0.000',V0_N2);
Edit_V0.Text:= FormatFloat('##0.000',V0);
//=====
//      расчет объема продуктов горения 1 м3 газа при alfa>1
//=====
Va_CO2:=V0_CO2;
Va_SO2:=V0_SO2;
Va_H2O:=V0_H2O+0.00124*dsv*Lavv/(1+0.00124*dsv);
Va_N2:=0.01*N2V+alfa*3.76*V_O2;
V_O2_izb:=(alfa-1)*V_O2;
Va:= Va_CO2+Va_SO2+Va_H2O+Va_N2+V_O2_izb;
//      ВЫВОД
Edit_VCO2a.Text:= FormatFloat('##0.000',Va_CO2);
Edit_VSO2a.Text:= FormatFloat('##0.000',Va_SO2);
Edit_VH2Oa.Text:= FormatFloat('##0.000',Va_H2O);
Edit_VN2a.Text:= FormatFloat('##0.000',Va_N2);
Edit_VO2_izb.Text:= FormatFloat('##0.000',V_O2_izb);
Edit_Va.Text:= FormatFloat('##0.000',Va);
//=====
//      расчет %-го состава продуктов горения 1 м3 газа при alfa=1
//=====
CO2g:= 100*V0_CO2/V0;
SO2g:= 100*V0_SO2/V0;
H2Og:= 100*V0_H2O/V0;
N2g:= 100*V0_N2/V0;
Sproc:=CO2g+SO2g+H2Og+N2g;
//      ВЫВОД
Edit_CO2g.Text:= FormatFloat('##0.000',CO2g);
Edit_SO2g.Text:= FormatFloat('##0.000',SO2g);

```

```

Edit_H2Og.Text:= FormatFloat('##0.000',H2Og);
Edit_N2g.Text:= FormatFloat('##0.000',N2g);
Edit_Sproc.Text:= FormatFloat('##0.000',Sproc);
if (abs(Sproc-100)>1E-6) then begin
    ShowMessage('% состав продуктов горения не равен 100%. Ошибка в
выч-ях!');
    Exit
end;

//=====
// Расчет процентного состава продуктов горения 1 м3 газа при alfa>1
//=====
CO2ga:= 100*Va_CO2/Va;
SO2ga:= 100*Va_SO2/Va;
H2Oga:= 100*Va_H2O/Va;
N2ga:= 100*Va_N2/Va;
O2_izb:=100*V_O2_izb/Va;
Sproc:=CO2ga+SO2ga+H2Oga+N2ga+O2_izb;
// ВЫВОД
Edit_CO2a.Text:= FormatFloat('##0.000',CO2ga);
Edit_SO2a.Text:= FormatFloat('##0.000',SO2ga);
Edit_H2Oa.Text:= FormatFloat('##0.000',H2Oga);
Edit_N2a.Text:= FormatFloat('##0.000',N2ga);
Edit_O2_izb.Text:= FormatFloat('##0.000',O2_izb);
Edit_Sproca.Text:= FormatFloat('##0.000',Sproc);
if (abs(Sproc-100)>1E-6) then begin
    ShowMessage('% состав продуктов горения не равен 100%. Ошибка в
выч-ях!');
    Exit
end;
//=====
// Материальный баланс горения (при сжигании V=100 м3 газа)
//=====
r_topl:=0; V:=100;
//===== выч-ние плотности и массы топлива
for i:=1 to nv do
    if VG[i]>1E-6 then //газ присутствует в составе топлива
        r_topl:=r_topl+VG[i]*MM[i];
r_topl:=r_topl/100/22.4;
M_topl:=r_topl*V;
//===== выч-ние плотности и массы воздуха
H2Ovv:=100*dsv/(803.6+dsv);
koef_vozd:=(100-H2Ovv)/100;
O2vv:=koef_vozd*21; // пересчет O2 на влажное сост.
N2vv:=koef_vozd*79; // пересчет N2 на влажное сост.
r_vozd:=(H2Ovv*18+O2vv*32+N2vv*28)/100/22.4;
M_vozd:=r_vozd*V*Lavv;
//===== выч-ние плотности и массы продуктов горения
r_gor:=(CO2ga*44+SO2ga*64+H2Oga*18+N2ga*28+O2_izb*32)/100/22.4;
M_gor:=r_gor*V*Va;
//===== вывод =====
Memol.Clear;
Memol.Lines.Add('=====');
Memol.Lines.Add(' Приход, кг ');
Memol.Lines.Add('=====');
Memol.Lines.Add('Масса природного газа = '
+FormatFloat('###0.0000',r_topl)

```

```

        + ' * '+FormatFloat('###0.0',V)+' = '
        +FormatFloat('###0.000',M_topl)+' кг');
Memol.Lines.Add('Масса воздуха = '
        +FormatFloat('###0.000',r_vozd)
        + ' * '+FormatFloat('###0.0',V)
        + ' * '+FormatFloat('###0.000',Lavv)+' = '
        +FormatFloat('###0.000',M_vozd)+' кг');
    prihod:=M_topl+M_vozd;
Memol.Lines.Add('Всего = '+FormatFloat('###0.000',prihod)+' кг');
Memol.Lines.Add('');
Memol.Lines.Add('=====');
Memol.Lines.Add('    Расход, кг');
Memol.Lines.Add('=====');
Memol.Lines.Add('Масса продуктов горения = ');
Memol.Lines.Add('= '+FormatFloat('###0.000',r_gor)
        + ' * '+FormatFloat('###0.0',V)
        + ' * '+FormatFloat('###0.000',Va)+' = '
        +FormatFloat('###0.000',M_gor)+' кг');
Neviazka:=abs(prihod-M_gor)/M_gor;
Memol.Lines.Add('');
Memol.Lines.Add('=====');
Memol.Lines.Add('');
Memol.Lines.Add('Невязка = |'+FormatFloat('###0.000',prihod)
        + '-'+FormatFloat('###0.000',M_gor)+'|/'
        +FormatFloat('###0.000',M_gor)+'*100% = '
        +FormatFloat('###0.000',Neviazka*100)+'%');

//включение кнопок
Form_rez.BitBtn_save.Enabled:=True;
end;
//=====
//    Сохранение решения в файле
//=====
procedure TForm_rez.BitBtn_saveClick(Sender: TObject);
var i:integer;
    str,str1,stra,strla:string; //вспом
procedure formula(mas_koef:mas_v;proc:boolean;pr:boolean);
//-----
// формирует 2 строки: str и str1 - для вывода суммы произведений
// массивов mas_koef и VG. Если proc=TRUE, то эта сумма умножается
// на 0,01. Если pr=TRUE, то обе строки выводятся в файл f.
//-----
    var i:integer;
begin
    str:=''; str1:='';
    for i:=1 to nv do
        if (VG[i]>1E-6) and (mas_koef[i]>1E-6) then
            begin
                str:=str+FloatToStr(mas_koef[i])+'*'+gas[i]+'вл +';
                str1:=str1+FloatToStr(mas_koef[i])+'*'
                    +FormatFloat('###0.000',VG[i])+'% +';
            end;
    delete(str,length(str),1); //удаление из строки последнего «+»
    delete(str1,length(str1),1);
    if (proc) then begin
        str:='0.01*('+str+')';
        str1:='0.01*('+str1+')';
    end;
    if pr then writeln(f,str,' = ');
end;

```

```

        if pr then write(f,'= ',str1,' =');
end; //formula
//-----
begin
  if SaveDialog1.Execute then // выбран файл для сохранения
  begin
    Fname:=SaveDialog1.FileName;
    AssignFile(f,fname);
    Rewrite(f);
    writeln(f,'Расчет горения топлива');
    writeln(f,'=====');
// вывод исходного состава сухого газа
    writeln(f,'Исходный состав сухого газа (%):');
    for i:=1 to ns do
      if abs(SG[i])>1E-6 then writeln(f,gas[i]:6,' = ',SG[i]:8:2);
    writeln(f,'Температура сухого атмосферного воздуха = ',t:4:1,
      ' град. С');
    writeln(f,'Влажность газа = ',dsg:6:2,' г/м3');
    writeln(f);
// вывод состава влажного газа
    writeln(f,'Влажный состав газа (%):');
    for i:=1 to nv do
      if abs(VG[i])>1E-6 then writeln(f,gas[i]:6,' = ',VG[i]:8:2);
    writeln(f,'Влагосодержание атмосферного воздуха dsv = ',dsv:6:2,
      ' г/м3');
    writeln(f,'Коэффициент избытка воздуха alfa = ',alfa:4:2);
    writeln(f);
    writeln(f,'Теплота сгорания топлива:');
    write(f,'Qнр = ');
    formula(KQ,False,True);
    writeln(f,Q:8:0, ' кДж/м3');
    writeln(f);
    writeln(f,'Объем кислорода, необходимого для сжигания 1 м3 газа:');
    write(f,'V_O2 = ');
    formula(KV_O2,True,True);
    writeln(f,V_O2:6:3,' м3/м3');
    writeln(f,'=====');
    writeln(f,'Теоретически необходимое количество сухого воздуха:');
    writeln(f,'L0с.в. = 4.76 * V_O2 = 4.76 * ',V_O2:6:3,' = ',
      L0sv:6:3,' м3/м3');
    writeln(f);
    writeln(f,'Действительное количество сухого воздуха:');
    writeln(f,'Лас.в. = alfa * L0с.в. = ',alfa:4:2,' * ',L0sv:6:3,
      '= ',Lasv:6:3,' м3/м3');
    writeln(f);
    writeln(f,'Теоретически необходимое количество атм. воздуха:');
    writeln(f,'L0в.в.=(1+0,00124*дс.в.)*L0с.в.=(1+0,00124* ',
      dsv:5:2,')* ',L0sv:6:3,' = ',L0vv:6:3,' м3/м3');
    writeln(f);
    writeln(f,'Действительное количество атмосферного воздуха:');
    writeln(f,'Лав.в. = alfa*L0в.в.=',alfa:4:2,' * ',L0vv:6:3,' = ',
      Lavv:6:3,' м3/м3');
    writeln(f);
    writeln(f,'=====');
    writeln(f,'Объем продуктов горения:');
    write(f,'V_CO2 = ');
    formula(KV0_CO2,True,True);
    writeln(f,Va_CO2:6:3,' м3/м3');

```

```

writeln(f);
write(f,'V_H2O = ');
formula(KV0_H2O,True,False);
stra:='+0,00124*dc.в.*La_вв/(1+0,00124*dc.в.)=';
str1a:='+0,00124*'+FormatFloat('#0.000',dsv)+'*'
      +FormatFloat('##0.000',Lavv)+'/(1+0,00124*'+
      +FormatFloat('#0.000',dsv)+')'=';
writeln(f,str,' ');          writeln(f,stra);
writeln(f,'= ',str1,' ');    write(f,str1a);
writeln(f,Va_H2O:6:3,' м3/м3');
writeln(f);
writeln(f,'V_N2 = 0,01*N2вл+3,76*alfa*V_O2=0.01*',
      N2V:6:3,'+3.76*',alfa:4:2,'*',
      V_O2:5:3,'=',Va_N2:4:2,' м3/м3');
writeln(f);
writeln(f,'V_O2избыт. = (alfa-1)*V_O2=(',alfa:4:2,'-1)*',
      V_O2:6:3,'=',V_O2_изб:6:3,' м3/м3');
writeln(f);
writeln(f,'Общее количество продуктов горения:');
write(f,'Va = V_CO2+V_H2O+V_N2+V_O2избыт.=',Va_CO2:6:3,'+',
      Va_H2O:5:3,'+',Va_N2:4:2,'+',V_O2_изб:5:3,'=',
      Va:6:3,' м3/м3');
writeln(f);
writeln(f,'=====');
writeln(f,'Процентный состав продуктов горения:');
writeln(f,'CO2 = 100*Va_CO2/Va = 100*',Va_CO2:6:3,'/',
      Va:6:3,'=',CO2га:6:2,' %');
writeln(f,'H2O = 100*Va_H2O/Va = 100*',Va_H2O:6:3,'/',
      Va:6:3,'=',H2Oга:6:2,' %');
writeln(f,'N2 = 100*Va_N2/Va = 100*',Va_N2:6:3,'/',
      Va:6:3,'=',N2га:6:2,' %');
writeln(f,'O2избыт. = 100*V_O2избыт./Va = 100*',V_O2_изб:6:3,'/',
      Va:6:3,'=',O2_изб:6:2,' %');
writeln(f);
writeln(f);
writeln(f,'Материальный баланс горения природного газа (V=100 м3) :');
writeln(f,'=====');
writeln(f,' Приход, кг ');
writeln(f,'=====');
writeln(f,'Плотность топлива: ');
write(f,'r_topl = ');
formula(MM,False,True);
writeln(f,r_topl:6:3,' кг/м3');
writeln(f);
writeln(f,'Масса природного газа: ');
writeln(f,'M_топл = r_topl * V = ',r_topl:6:3,'*',V:3:0,'=',
      M_topl:8:3,' кг');
writeln(f);
writeln(f,'Пересчет воздуха на влажную массу:');
write(f,'H2Oв.в. = 100*dc.в./(803.6+dc.в.)');
writeln(f,'=100*',dsv:4:2,'/(803.6+',dsv:4:2,')' =',
      H2Ovv:6:3,' %');
writeln(f,'O2в.в. = (100-H2Oв.в.)*21/100=(100-',O2vv:6:3,
      ')*21/100=',O2vv:6:3,' %');
writeln(f,'N2в.в. = (100-H2Oв.в.)*79/100=(100-',H2Ovv:6:3,
      ')*21/100=',N2vv:6:3,' %');
writeln(f);
writeln(f,'Плотность воздуха:');

```

```

writeln(f, 'r_возд =(H2Oв.в.*18+O2в.в.*32+N2в.в.*28)/(100*22.4)=');
writeln(f, '=( ', H2Ovv:5:3, '*18+', O2vv:6:3, '*32+', N2vv:6:3,
      '*28)/(100*22.4)=', r_vozd:6:3, ' кг/м3');
writeln(f);
writeln(f, 'Масса воздуха: ');
writeln(f, 'M_возд = r_возд * V * Лав.в.= ', r_vozd:6:3, '*', V:3:0,
      '*', Lavv:6:3, ' =', M_vozd:8:3, ' кг');
writeln(f);
writeln(f, 'Приход = M_топл + M_возд = ',
      M_topl:6:3, '+', M_vozd:8:3, '= ', prihod:8:3, ' кг');
writeln(f, '=====' );
writeln(f, '      Расход, кг');
writeln(f, '=====' );
writeln(f, 'Плотность продуктов горения:');
writeln(f, 'r_гор = ',
      '(CO2_гор*44+SO2_гор*64+H2O_гор*18+N2_гор*28+O2_избыт.*32)/');
writeln(f, '/(100*22.4)=( ', CO2ga:5:2, '*44+', H2Oga:5:2, '*18+',
      N2ga:5:2, '*28+', V_O2_izb:5:2,
      '*32)/(100*22.4)=');
writeln(f, '= ', r_гор:6:3, ' кг/м3');
writeln(f);
writeln(f, 'Масса продуктов горения: ');
writeln(f, 'M_гор = r_гор * V * Лав.в.= ', r_гор:6:3, '*', V:3:0, '*',
      Lavv:6:3, ' =', M_гор:8:3, ' кг');
writeln(f);
writeln(f, '=====' );
writeln(f, 'Невязка = 100 * | M_топл + M_возд - M_гор | / M_гор = ');
writeln(f, '= 100 * | ', prihod:8:3, '-', M_гор:8:3, ' | / ',
      M_гор:8:3, ' = ', 100*neviazka:5:3, ' %');
closefile(f)
end
end;
end.

```

## Модуль перегляду у вікні форми файлу з розв'язанням задачі

```

unit U_resh;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Buttons;

type
  TForm_resh = class(TForm)
    OpenDialog1: TOpenDialog;
    BitBtn_View: TBitBtn;
    Memo_View: TMemo;
    BitBtn_close: TBitBtn;
    procedure BitBtn_ViewClick(Sender: TObject);
    procedure BitBtn_closeClick(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

```



```

end;

var
  Form_resh: TForm_resh;

implementation

{$R *.DFM}

procedure TForm_resh.BitBtn_ViewClick(Sender: TObject);
begin
  if OpenDialog1.Execute then
    Memo_View.Lines.LoadFromFile(OpenDialog1.FileName);
end;

procedure TForm_resh.BitBtn_closeClick(Sender: TObject);
begin
  close;
end;

end.

```

### **Додаток В.10. Опис роботи програми**

Взаємодія користувача і програми здійснюється за допомогою меню таким чином.

1. На екран виводиться вікно головного модуля – для вибору потрібного пункту меню (див. додаток В.13, рис.1).
2. При виборі пункту «Вихідні дані» (див. додаток В.13, рис.2) на екрані з'явиться вікно «Вихідні дані», на якому будуть виведена дві панелі: ліва – для введення складу газу в сухому стані, і права – для виведення складу газу після перерахунку його на вологий стан. Крім того, в цьому вікні необхідно ввести вихідні значення вхідних параметрів:
  - а) вологості сухого газу –  $dc.g.$ ;
  - б) температури атмосферного повітря –  $t$ ;
  - в) коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ .

В разі помилки, якщо сума відсотків  $\neq 100\%$ , на екран виводиться відповідне повідомлення.

Для обчислення результату слід натискувати кнопку «Перерахунок на вологий стан». При цьому в правому вікні з'являться відповідні відсотки, і буде виведено значення  $dc.v.$  – вмісту вологи сухого газу (див. додаток В.13, рис.3). Після цього слід натиснути кнопку «Вихід» і повернутися до головного меню.

3. При виборі пункту меню «Результат» (див. додаток В.13, рис.4) на екрані з'явиться вікно «Результати розрахунку» з активною кнопкою «Розрахунок горіння». При цьому, якщо пункт1 «Вихідні дані» не був виконаний, то ця кнопка залишиться неактивною.

У цьому вікні треба натиснути кнопку «Розрахунок горіння». Тепер у вікні з'являться результати розрахунку (див. додаток В.13, рис.5), і стане

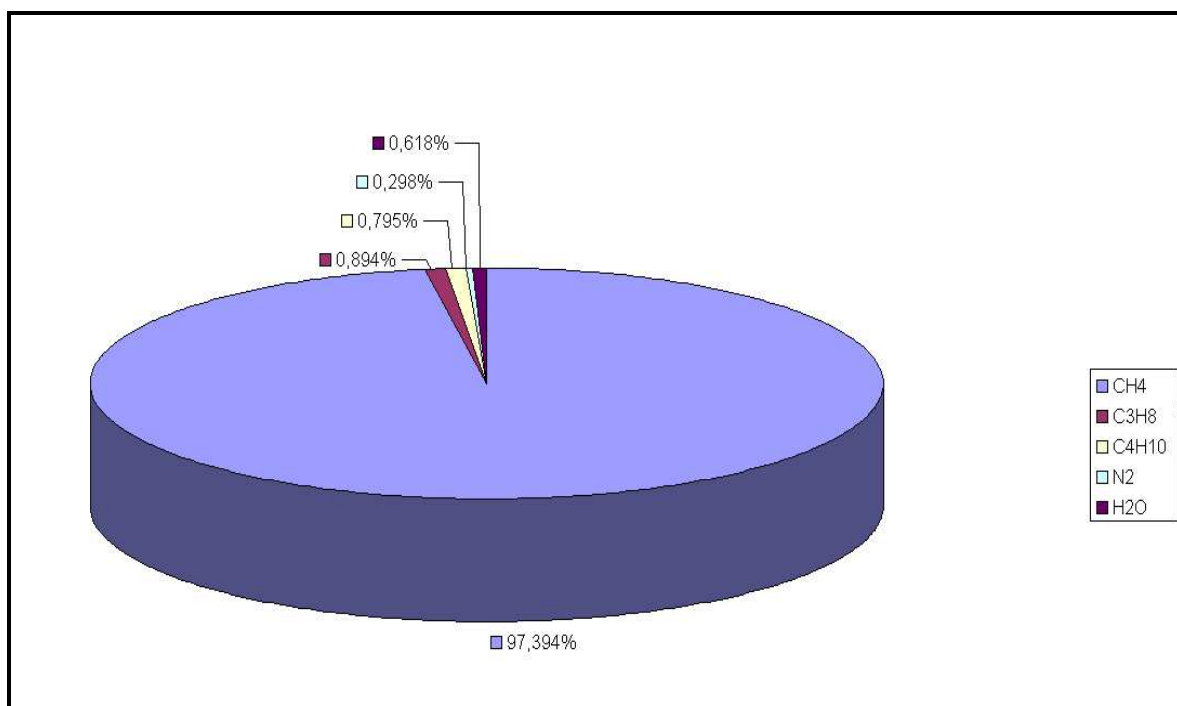
активною кнопка «Збереження рез-тов у файлі», яка до розрахунку була неактивна.

Для збереження результатів у файлі треба клацнути однойменну кнопку, у вікні, що відкрилося, «Зберегти як» (див. додаток В.13, рис.6) ввести ім'я текстового файлу і вказати дорогу до нього.

Кнопка «Вихід» повертає до вихідного меню.

4. При виборі пункту меню «Рішення» на екрані відкриється вікно «Файл з рішенням» (див. додаток В.13, рис.7), в якому слід натискувати кнопку «Перегляд файлу з рішенням». При цьому з'явиться діалогове вікно «Відкрити» (див. додаток В.13, рис.8), в якому треба вибрати файл з результатами розрахунку, після чого рішення буде виведено на екран (див. додаток В.13, рис.9). Цей же файл можна роздрукувати за допомогою будь-якого текстового редактора. Приклад файлу з рішенням наведений в додатку В.14. Кнопка «Вихід» повертає в головне меню.
5. Пункт «Вихід» головного меню закриває вікно додатка.

#### Додаток В.11. Діаграма складу палива в робочому стані



#### Додаток В.12. Аналіз результатів

Для порівняння результатів роботи програми з результатами контрольного прорахунку складемо порівняльну таблицю значень:

Назва параметра	Одиниця виміру	Значення в програмі	Значення в контрольному	Вічко (діапазон)
-----------------	----------------	---------------------	-------------------------	------------------

			прикладі	вічок) робочого листа
Склад вологого газу: Сh4в.г. С3Н8в.г. С4Н10в.г. N2в.г. Н2Ов.г.	%			
		97,394	97,394	В19
		0,894	0,894	Н19
		0,795	0,795	І19
		0,298	0,298	Л19
		0,618	0,618	Р19
Об'єм кисню V_O2	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	2,044	2,044	Д28
Теоретично необхідна кількість сухого повітря L0 <sup>с.в.</sup>	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	9,731	9,731	Д29
Дійсна кількість сухого повітря, Lα <sup>с.в.</sup>	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	11,190	11,190	Д30
Вміст вологи сухого атм. повітря	г/м <sup>3</sup>	9,8	9,8	Н28
Теоретична кількість атм. повітря, L0 <sup>в.в.</sup>	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	9,849	9,849	Н29
Дійсна кількість атм. повітря, Lα <sup>в.в.</sup>	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	11,326	11,326	Н30
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .

Таблиця показує збіг результатів розрахунку і тим самим підтверджує правильність роботи програми.

## Додаток В.13. Програмний інтерфейс

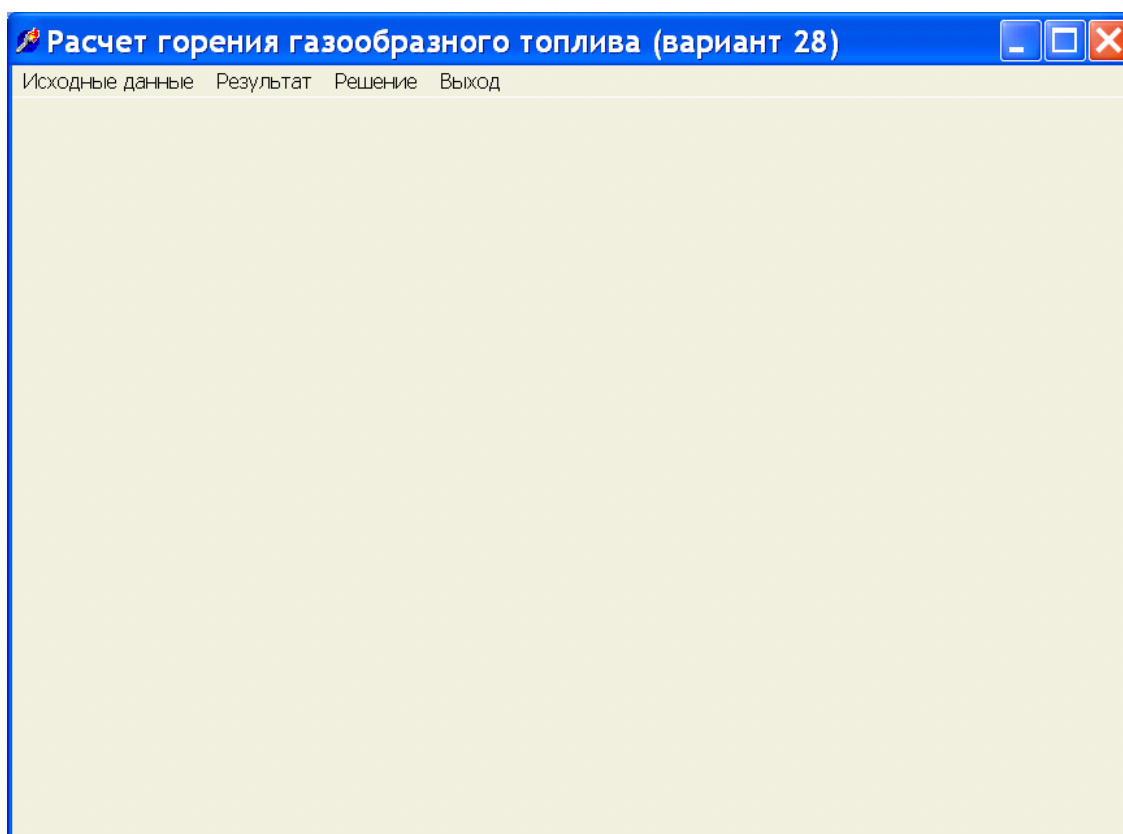


Рис.1 – Головне меню проекта

**Исходные данные**

Состав сухого газа				Состав влажного газа							
CO	0	%	C4H10	0,8	%	CO	0	%	C4H10	0	%
H2	0	%	C5H12	0	%	H2	0	%	C5H12	0	%
CH4	98	%	H2S	0	%	CH4	0	%	H2S	0	%
C2H4	0	%	N2	0,3	%	C2H4	0	%	N2	0	%
C2H2	0	%	O2	0	%	C2H2	0	%	O2	0	%
C2H6	0	%	CO2	0	%	C2H6	0	%	CO2	0	%
C3H8	0,9	%	SO2	0	%	C3H8	0	%	SO2	0	%
сумма = 0 %				сумма = 0 %							

Влажесодержание (d с.г.)  г/м3      Коэффициент избытка воздуха

Температура воздуха  град С      Влажесодерж-е атм. воздуха (d с.в.)  г/м3

Пересчет на влажное состояние       Очистка       Выход

Рис.2 – Вікно «Вихідні дані»

**Исходные данные**

Состав сухого газа				Состав влажного газа							
CO	0	%	C4H10	0,8	%	CO	0,00	%	C4H10	0,80	%
H2	0	%	C5H12	0	%	H2	0,00	%	C5H12	0,00	%
CH4	98	%	H2S	0	%	CH4	97,39	%	H2S	0,00	%
C2H4	0	%	N2	0,3	%	C2H4	0,00	%	N2	0,30	%
C2H2	0	%	O2	0	%	C2H2	0,00	%	O2	0,00	%
C2H6	0	%	CO2	0	%	C2H6	0,00	%	CO2	0,00	%
C3H8	0,9	%	SO2	0	%	C3H8	0,89	%	SO2	0,00	%
сумма = 100 %				сумма = 100 %							

Влажесодержание (d с.г.)  г/м3      Коэффициент избытка воздуха

Температура воздуха  град С      Влажесодерж-е атм. воздуха (d с.в.)  г/м3

Пересчет на влажное состояние       Очистка       Выход

Рис.3 – Результат перерахунку на вологий стан

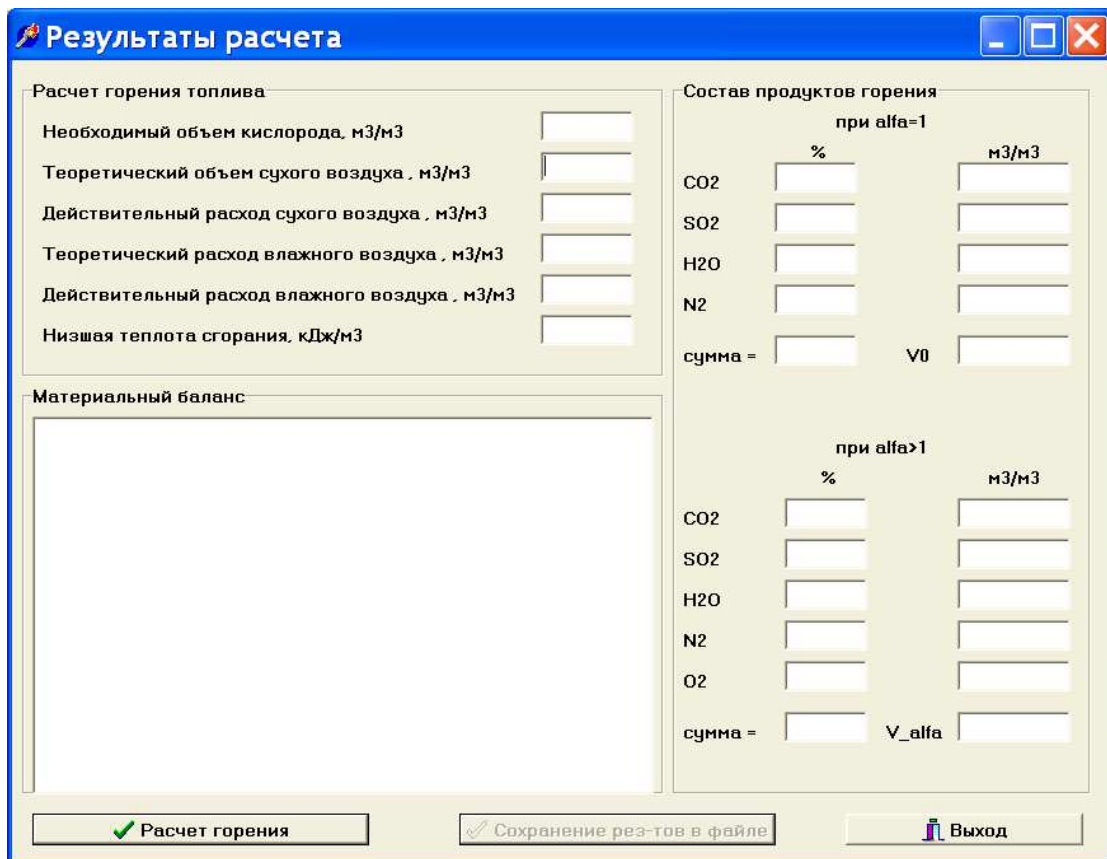


Рис.4 – Вікно «Результати розрахунку» – після виконання пункту меню «Вихідні дані»

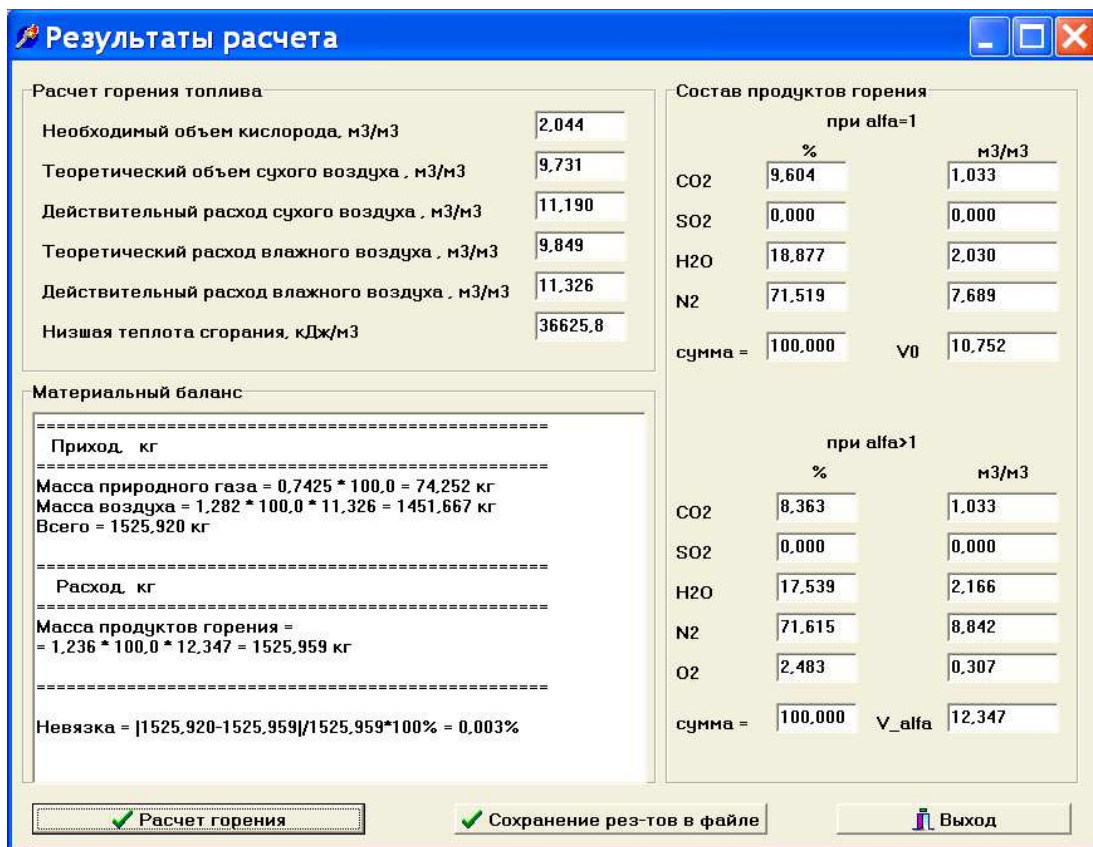


Рис.5 – Вікно «Результати розрахунку» – після натиснення кнопки «Розрахунок горіння»

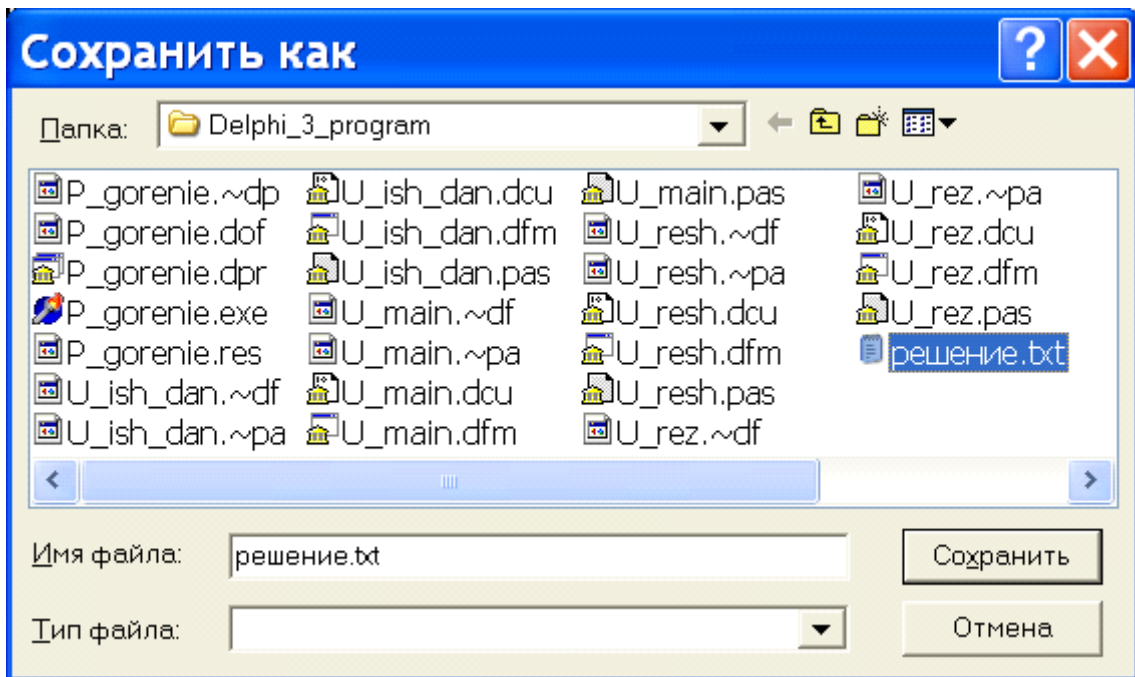


Рис.6 – Результат нажатия кнопки «Збереження результатів у файлі»

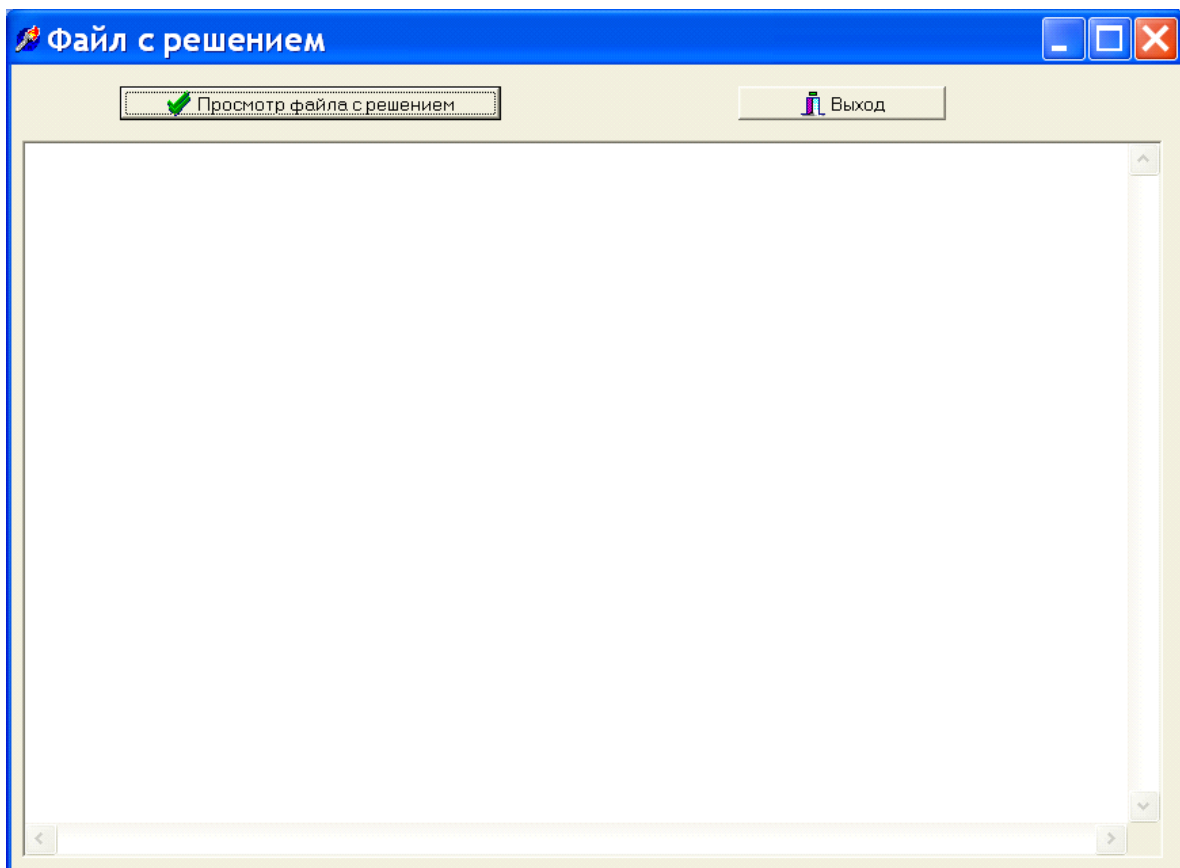


Рис.7 – Результат выбора пункта «Решения» в главном меню

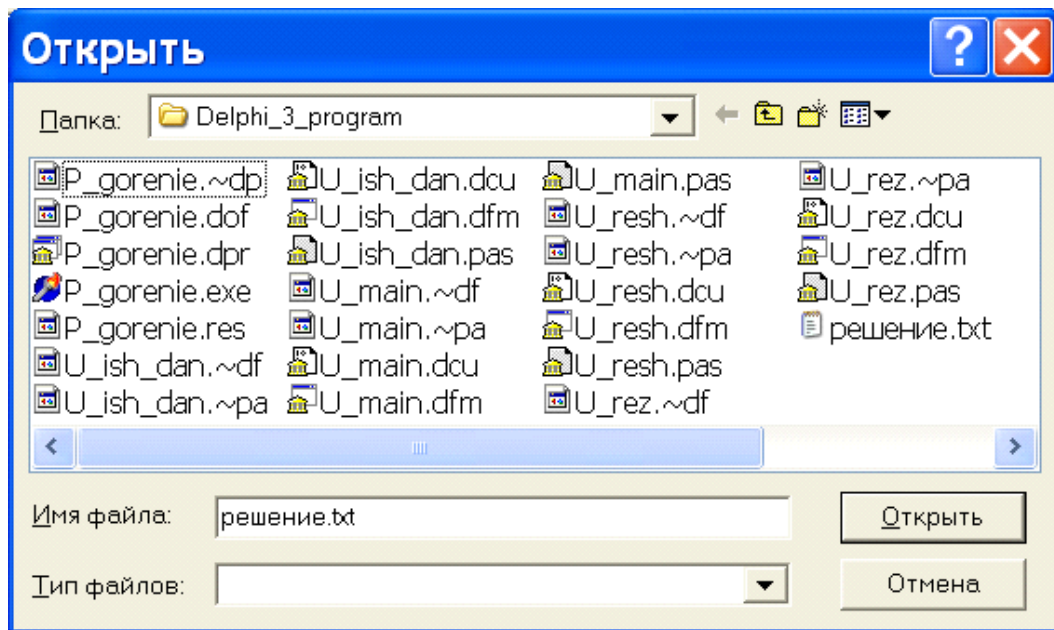


Рис.8 – Результат нажатия кнопки «Просмотр файла с решением»

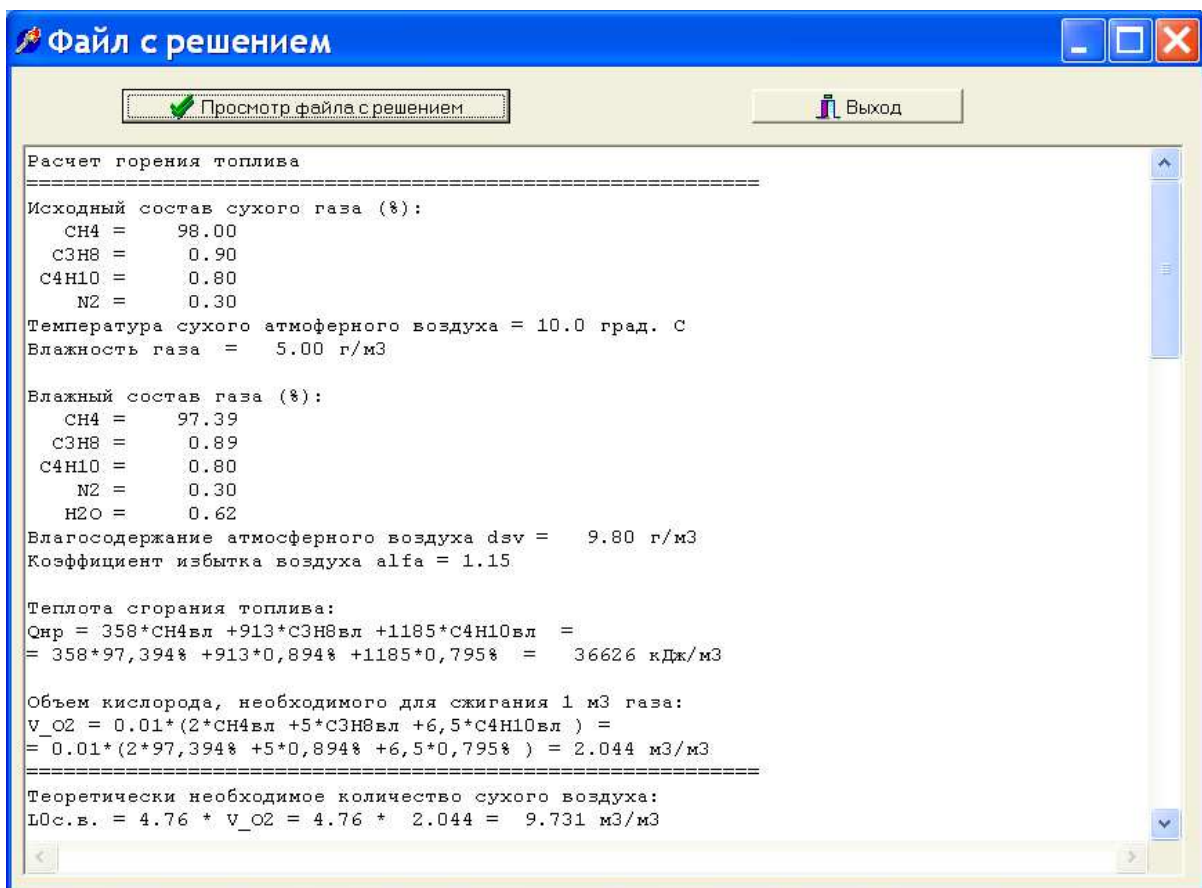


Рис.9 – Вивід у вікно вмісту файлу «рішення.txt»



## Приложение В.14.      Файл з рішенням

Расчет горения топлива

=====

Исходный состав сухого газа (%):

CH4 = 98.00  
 C3H8 = 0.90  
 C4H10 = 0.80  
 N2 = 0.30

Температура сухого атмосферного воздуха = 10.0 град. С

Влажность газа = 5.00 г/м3

Влажный состав газа (%):

CH4 = 97.39  
 C3H8 = 0.89  
 C4H10 = 0.80  
 N2 = 0.30  
 H2O = 0.62

Влагосодержание атмосферного воздуха dsv = 9.80 г/м3

Коэффициент избытка воздуха alfa = 1.15

Теплота сгорания топлива:

Q<sub>нр</sub> = 358\*CH<sub>4вл</sub> + 913\*C<sub>3H8вл</sub> + 1185\*C<sub>4H10вл</sub> =  
 = 358\*97,394% + 913\*0,894% + 1185\*0,795% = 36626 кДж/м3

Объем кислорода, необходимого для сжигания 1 м3 газа:

V<sub>O2</sub> = 0.01\*(2\*CH<sub>4вл</sub> + 5\*C<sub>3H8вл</sub> + 6,5\*C<sub>4H10вл</sub>) =  
 = 0.01\*(2\*97,394% + 5\*0,894% + 6,5\*0,795%) = 2.044 м3/м3

=====

Теоретически необходимое количество сухого воздуха:

L<sub>0с.в.</sub> = 4.76 \* V<sub>O2</sub> = 4.76 \* 2.044 = 9.731 м3/м3

Действительное количество сухого воздуха:

L<sub>ас.в.</sub> = alfa \* L<sub>0с.в.</sub> = 1.15 \* 9.731 = 11.190 м3/м3

Теоретически необходимое количество атмосферного воздуха:

L<sub>0в.в.</sub> = (1+0,00124\*dс.в.) \* L<sub>0с.в.</sub> = (1+0,00124\* 9.80) \* 9.731 = 9.849 м3/м3

Действительное количество атмосферного воздуха:

L<sub>ав.в.</sub> = alfa\*L<sub>0в.в.</sub> = 1.15\* 9.849 = 11.326 м3/м3

=====

Объем продуктов горения:

V<sub>CO2</sub> = 0.01\*(1\*CH<sub>4вл</sub> + 3\*C<sub>3H8вл</sub> + 4\*C<sub>4H10вл</sub>) =  
 = 0.01\*(1\*97,394% + 3\*0,894% + 4\*0,795%) = 1.033 м3/м3

V<sub>H2O</sub> = 0.01\*(2\*CH<sub>4вл</sub> + 4\*C<sub>3H8вл</sub> + 5\*C<sub>4H10вл</sub> + 1\*H<sub>2Oвл</sub>) +  
 + 0,00124\*dс.в.\*L<sub>ав.в.</sub> / (1+0,00124\*dс.в.) =  
 = 0.01\*(2\*97,394% + 4\*0,894% + 5\*0,795% + 1\*0,618%) +  
 + 0,00124\*9,800\*11,326 / (1+0,00124\*9,800) = 2.166 м3/м3

V<sub>N2</sub> = 0,01\*N<sub>2вл</sub> + 3,76\*alfa\*V<sub>O2</sub> = 0.01\* 0.298 + 3.76\*1.15\*2.044 = 8.84 м3/м3

V<sub>O2избыт.</sub> = (alfa-1)\*V<sub>O2</sub> = (1.15-1)\* 2.044 = 0.307 м3/м3

Общее количество продуктов горения:

$$V_a = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2 \text{избыт.}} = 1.033 + 2.166 + 8.84 + 0.307 = 12.347 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

=====

Процентный состав продуктов горения:

$$CO_2 = 100 * V_a_{CO_2} / V_a = 100 * 1.033 / 12.347 = 8.36 \%$$

$$H_2O = 100 * V_a_{H_2O} / V_a = 100 * 2.166 / 12.347 = 17.54 \%$$

$$N_2 = 100 * V_a_{N_2} / V_a = 100 * 8.842 / 12.347 = 71.61 \%$$

$$O_2 \text{избыт.} = 100 * V_{O_2 \text{избыт.}} / V_a = 100 * 0.307 / 12.347 = 2.48 \%$$

Материальный баланс горения природного газа (V=100 м<sup>3</sup>) :

=====

Приход, кг

=====

Плотность топлива:

$$\begin{aligned} r_{\text{топл}} &= 16 * C_{H_4 \text{вл}} + 44 * C_{C_3H_8 \text{вл}} + 58 * C_{C_4H_{10} \text{вл}} + 28 * N_{2 \text{вл}} + 18 * H_{2O \text{вл}} = \\ &= 16 * 97,394\% + 44 * 0,894\% + 58 * 0,795\% + 28 * 0,298\% + 18 * 0,618\% = 0.743 \\ &\text{кг/м}^3 \end{aligned}$$

Масса природного газа:

$$M_{\text{топл}} = r_{\text{топл}} * V = 0.743 * 100 = 74.252 \text{ кг}$$

Пересчет воздуха на влажную массу:

$$H_2O_{\text{в.в.}} = 100 * d_{\text{с.в.}} / (803.6 + d_{\text{с.в.}}) = 100 * 9.80 / (803.6 + 9.80) = 1.205 \%$$

$$O_2_{\text{в.в.}} = (100 - H_2O_{\text{в.в.}}) * 21 / 100 = (100 - 1.205) * 21 / 100 = 20.747 \%$$

$$N_2_{\text{в.в.}} = (100 - H_2O_{\text{в.в.}}) * 79 / 100 = (100 - 1.205) * 79 / 100 = 78.048 \%$$

Плотность воздуха:

$$\begin{aligned} r_{\text{возд}} &= (H_2O_{\text{в.в.}} * 18 + O_2_{\text{в.в.}} * 32 + N_2_{\text{в.в.}} * 28) / (100 * 22.4) = \\ &= (1.205 * 18 + 20.747 * 32 + 78.048 * 28) / (100 * 22.4) = 1.282 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

Масса воздуха:

$$M_{\text{возд}} = r_{\text{возд}} * V * L_{\text{ав.в.}} = 1.282 * 100 * 11.326 = 1451.667 \text{ кг}$$

$$\text{Приход} = M_{\text{топл}} + M_{\text{возд}} = 74.252 + 1451.667 = 1525.920 \text{ кг}$$

=====

Расход, кг

=====

Плотность продуктов горения:

$$\begin{aligned} r_{\text{гор}} &= (CO_2_{\text{гор}} * 44 + SO_2_{\text{гор}} * 64 + H_2O_{\text{гор}} * 18 + N_2_{\text{гор}} * 28 + O_2_{\text{избыт.}} * 32) / \\ &/ (100 * 22.4) = (8.36 * 44 + 17.54 * 18 + 71.61 * 28 + 0.31 * 32) / (100 * 22.4) = \\ &= 1.236 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

Масса продуктов горения:

$$M_{\text{гор}} = r_{\text{гор}} * V * L_{\text{ав.в.}} = 1.236 * 100 * 11.326 = 1525.959 \text{ кг}$$

=====

$$\text{Невязка} = 100 * | M_{\text{топл}} + M_{\text{возд}} - M_{\text{гор}} | / M_{\text{гор}} =$$

$$= 100 * | 1525.920 - 1525.959 | / 1525.959 = 0.003 \%$$

## ДОДАТОК С. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальну записку оформляють на листах формату А4 (210x297 мм) машинним (за допомогою комп'ютерної техніки) способом на одній стороні аркуша білого паперу. Міжрядковий інтервал вибирають з розрахунку не більше 40 рядків на сторінці за умови рівномірного її заповнення і висоті букв не менше  $h=2,5$  мм, дотримуючи при цьому наступні розміри полів: верхнє, лівє і нижнє – не менше 20 мм, правє – не менше 10 мм.

Помилки, описки і графічні неточності допускається виправляти стиранням або зафарбовуванням білою фарбою і нанесенням на тому ж місці або між рядків виправленого зображення машинописним способом або від руки.

Кожен пункт, підпункт і перерахування записуються з абзацного відступу.

Розділи і підрозділи повинні мати заголовки. Пункти, як правило, заголовків не мають. Заголовки повинні чітко і коротко відображати вміст розділів і підрозділів.

Заголовки структурних елементів записки і заголовки розділів слід розташовувати в середині рядка і друкувати прописними буквами без крапки в кінці, не підкреслюючи. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів записки слід починати з абзацного відступу і друкувати окрім першої прописної рядковими буквами, не підкреслюючи, без крапки в кінці. Якщо заголовок складається з двох пропозицій, їх розділяють крапкою. Відстань між заголовком і текстом при виконанні записки має бути не менше двох рядків

Кожен розділ текстового документа слід починати з нового аркуша. Перенесення слів в заголовок не допускаються.

Текст пояснювальної записки має бути коротким, чітким і не допускати різних тлумачень.

Структурні елементи «Реферат», «Вступ», «Висновок», «Список літератури» не нумерують, а їх найменування служать заголовками структурних елементів. Розділи, підрозділи, пункти, підпункти слід нумерувати арабськими цифрами, наприклад 1, 2, 3, і так далі. Підрозділи повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, розділених крапкою. Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад 1.1, 1.2 і так далі. Пункти повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу або підрозділу, наприклад, 1.1, 1.2 або 1.1.1, або 1.1.2 і так далі

### **Нумерація сторінок записки**

Сторінки пояснювальної записки слід нумерувати арабськими цифрами, дотримуючи крізну нумерацію по всьому тексту. Номер сторінки проставляють в правому верхньому кутку сторінки без крапки в кінці. «Титульний аркуш», «Аркуш завдання» включають в загальну нумерацію сторінок записки. Номер сторінки на титульному аркуші не проставляється. Ілюстрації і таблиці,

розташовані на окремих сторінках, включають в загальну нумерацію сторінок записки.

### **Побудова таблиць**

Таблиці застосовують для кращої наочності і зручності представлення показників. Назва таблиці, при його наявності, повинна відображати її вміст, бути точним, коротким. Назву слід розташовувати над таблицею. При перенесенні частини таблиці на ту ж або інші сторінки назву поміщають лише над першою частиною таблиці.

Таблиці, за винятком таблиць додатків, можна нумерувати арабськими цифрами крізною нумерацією і в межах розділів. У останньому випадку номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою. При цьому перша цифра номер розділу, а друга – порядковий номер таблиці в розділі.

Таблиці кожного додатка позначають окремою нумерацією арабськими цифрами з додаванням перед цифрою позначення додатка. Якщо в документі одна таблиця, вона має бути позначена «Таблиця 1» або «Таблиця В. 1 », якщо вона приведена в додатку В.

На всі таблиці мають бути приведені посилання в тексті записки. При посиланні слід писати слово «таблиця (таблиця. )» з вказівкою її номера. Наприклад, таблиця 2.1, що означає, що це перша таблиця другого розділу.

Заголовки граф і рядків таблиці слід писати з прописної букви, а підзаголовки граф – з рядкової букви, якщо вони складають одну пропозицію із заголовком або з прописної букви, якщо вони мають самостійне значення. В кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставляться. Заголовки і підзаголовки граф вказують в однині.

Розділяти заголовки і підзаголовки діагональними лініями не допускається. Горизонтальні і вертикальні лінії, що розмежовують рядки таблиці, допускається не проводити, якщо їх відсутність не утрудняє користування таблицею. Заголовки граф, як правило, записують паралельно рядкам таблиці. При необхідності допускається перпендикулярне розташування заголовків граф.

Голівка таблиці має бути відокремлена від останньої частини таблиці. Висота рядків таблиці має бути не менше 8 мм. Таблицю, залежно від її розміру, поміщають під текстом, в якому вперше дано заслання на неї, або на наступній сторінці, а при необхідності – в додатку до документа.

Якщо рядки або графи таблиці виходять за формат сторінки, таблицю ділять на частини, поміщаючи одну частину під інший або поруч або переносючи частину таблиці на наступну сторінку. При цьому в кожній частині таблиці повторюють її голівку і боковик.

При діленні таблиці на частини допускається її голівку і боковик замінювати відповідно номером граф і рядків. При цьому нумерують арабськими цифрами графи і (або) рядки першої частини таблиці.

Слово «Таблиця» вказують один раз зліва над першою частиною таблиці. Над іншими частинами пишуть слова «Продовження таблиці» з

вказівкою номера. Якщо в кінці сторінки таблиця уривається і її продовження буде на наступній сторінці, в першій частині таблиці нижню горизонтальну лінію, що обмежує таблицю не проводять.

Графу «номер по порядку» в таблицю включати не допускається. При необхідності нумерації показників, параметрів або інших даних порядкові номери слід вказувати в першій графі (боковику) таблиці безпосередньо перед їх найменуванням. Перед числовими значеннями величин і позначенням типів, марок і тому подібне порядкові номери в таблицях не проставляються.

### **Формули і рівняння**

Формули і рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки. Вище і нижче за кожен формулу або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка.

Формули і рівняння в записці слід нумерувати порядковою нумерацією в межах розділу. Номер формули або рівняння складається з номера формули або рівняння, розділених крапкою, наприклад, формула (5.3) - третя формула п'ятого розділу. Номер формули або рівняння вказують на рівні формули або рівняння в дужках в крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять у формулу або рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою в тій послідовності, в якій вони надані у формулі або рівнянні.

Пояснення кожного символу і числового коефіцієнта слід давати з нового рядка. Перший рядок пояснень слід починати з абзацу словом «де» без двокрапки. Вище і нижче за кожен формулу або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка.

### **Додатки**

Матеріал, що доповнює текст пояснювальної записки, допускається поміщати в додатках. Додатками можуть бути, наприклад, графічний матеріал, таблиці великого формату, розрахунки, описи апаратури, описи алгоритмів і програм задач, що вирішуються на ЕОМ, якщо це не є основним завданням роботи.

Додатки оформляють як продовження даного документа на подальших його листах. Додатки повинні мати загальну з останньою частиною крізну нумерацію сторінок. У тексті пояснювальної записки на всі додатки мають бути надані посилання. Додатки розташовують в порядку засылань на них в тексті пояснювальної записки.

Кожен додаток слід починати з нової сторінки з вказівкою вгорі посередині сторінки слова «Додаток» і його позначення. Додаток повинен мати заголовок, який записують симетрично відносно тексту з прописної букви окремим рядком.

## ДОДАТОК D. ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ

**Таблиця D.1**

Види органічного палива

Агрегатное стан	Природне паливо	Штучне паливо
Тверде	Викопні: Торф Бурий уголь Кам'яний уголь Антрацит Горючий сланець Поновлюване: Деревина	Торф'яний брикет Буроугольний брикет Кокс Напівкокс  Деревний уголь Деревні відходи Гідролізний лігнін Сільськогосподарські відходи
Рідке	Нафта	Мазут Дизельне паливо Бензин Гас  Сланцеве масло
Газоподібне	Газ: Природний Попутний	Газ: Зріджений Коксівний Доменний Піролізний

**Таблиця D.2**

Склад сухого повітря

	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	A (аргон)
Склад сухого повітря за об'ємом, %	20,99	78,03	0,98
Склад сухого повітря по вазі, %	23,19	75,46	1,35

**Таблиця D.3**

Формули коефіцієнтів для перерахунку складу палива з одного стану в інше

Вихідний стан палива	Перерахунок в стан палива		
	робоче	сухе	пальне
рабочее	1	$\frac{100}{100 - W^P}$	$\frac{100}{100 - (W^P + A^P)}$
сухе	$\frac{100 - W^P}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^C}$
пальне	$\frac{100 - (W^P + A^P)}{100}$	$\frac{100 - A^C}{100}$	1

**Таблиця D.4**

Атомні і молекулярні ваги речовин, що утворюються при згоранні палива

Елемент	Атомна вага	Речовина	Молекулярна вага
O	16,000	O <sub>2</sub>	32,000
H	1,008	H <sub>2</sub>	2,016
N	14,008	N <sub>2</sub>	28,016
C	12,010	CO <sub>2</sub>	44,010
S	32,070	CO	28,010
		H <sub>2</sub> O	18,016
		SO <sub>2</sub>	64,070

**Таблиця D.5**

Вміст вологи сухого повітря залежно від температури

t, °C	0	5	10	20	30	40	50	60	70
d <sup>С.В.</sup> , г/м <sup>3</sup>	4,9	7,0	9,8	19,0	35,1	63,1	111,3	197,0	356,0

## ДОДАТОК Е. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ГОРІННЯ ПАЛИВ

### 1 Розрахунок процесу горіння рідкого палива

#### 1.1 Вихідні дані

Заданий хімічний склад мазуту (у відсотках по масі):

$C^P$	$H^P$	$S^P$	$N^P$	$O^P$	$A^P$	$W^P$
85,9	9,9	0,4	0,3	0,5	0,2	2,8

і наступні параметри:

коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 1,28$ ;

вологість сухого повітря  $d^{C.B.} = 13,9$  г/м<sup>3</sup>.

#### 1.2 Розрахунок теплоти згорання мазуту

Нижчу теплоту згорання мазуту обчислимо за формулою (3.8):

$$Q_H^P = 339C^P + 1030 \cdot H^P - 109 \cdot (O^P - S^P) - 25 \cdot (9 \cdot H^P + W^P) = \\ = 339 \cdot 85,9 + 1030 \cdot 9,9 + 109 \cdot (0,5 - 0,4) - 25 \cdot (9 \cdot 9,9 + 2,8) = 37008,7 \text{ кДж/кг.}$$

#### 1.3 Визначення кількості повітря, необхідного для спалювання 1 кг мазуту

Розрахуємо по формулі (4.2) кількість кисню, необхідного для повного згорання 1 кг мазуту:

$$V_{O_2} = 0,01 \cdot (1,867 \cdot C^P + 5,6 \cdot H^P + 0,7 \cdot S^P - 0,7 \cdot O^P) \text{ м}^3 / \text{кг} = \\ = 0,01 \cdot (1,867 \cdot 85,9 + 5,6 \cdot 9,9 + 0,7 \cdot 0,4 - 0,7 \cdot 0,5) = 2,157 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Теоретичну витрату сухого атмосферного повітря, необхідного для спалювання 1 кг мазуту, знаходимо по формулі (4.3):

$$L_0^{C.B.} = (1 + K) \cdot V_{O_2} = (1 + 3,76) \cdot 2,157 = 10,27 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Теоретичну витрату вологого повітря обчислюємо за формулою (4.5):

$$L_0^{B.B.} = (1 + 0,00124 \cdot d^{C.B.}) \cdot L_0^{C.B.} = (1 + 0,00124 \cdot 13,9) \cdot 10,27 = 10,446 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

Дійсна витрата вологого повітря (4.6) дорівнює:

$$L_\alpha^{B.B.} = \alpha \cdot L_0^{B.B.} = 1,28 \cdot 10,446 = 13,371 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$

#### 1.4 Визначення кількості ( $V_0$ ) і складу продуктів згорання мазуту при $\alpha = 1$

Розрахуємо кількість двоокису вуглецю по формулі (4.8):

$$V_0^{CO_2} = 0,01 \cdot 1,867 \cdot C^P = 0,01 \cdot 1,867 \cdot 85,9 = 1,604 \text{ м}^3 / \text{кг.}$$



Кількість двоокису сірки відповідно до формули (4.9) рівна:

$$V_0^{\text{SO}_2} = 0,01 \cdot 0,7 \cdot S^P = 0,01 \cdot 0,7 \cdot 0,4 = 0,003 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Кількість водяної пари по формулі (4.10) рівна:

$$\begin{aligned} V_0^{\text{H}_2\text{O}} &= 0,01 \cdot (11,2 \cdot H^P + 1,244 \cdot W^P) + 0,00124 \cdot d^{\text{c.B}} \cdot L_0^{\text{c.B}} = \\ &= 0,01 \cdot (11,2 \cdot 9,9 + 1,244 \cdot 2,8) + 0,00124 \cdot 13,9 \cdot 10,27 = 1,319 \text{ м}^3/\text{кг}. \end{aligned}$$

Кількість азоту обчислимо за формулою (4.11):

$$\begin{aligned} V_0^{\text{N}_2} &= 0,01 \cdot 0,8 \cdot N^P + K \cdot V_{\text{O}_2} = \\ &= 0,01 \cdot 0,8 \cdot 0,3 + 3,76 \cdot 2,157 = 8,11 \text{ м}^3/\text{кг}. \end{aligned}$$

Загальний об'єм продуктів згорання при  $\alpha=1$  відповідно до формули (4.7) рівний:

$$\begin{aligned} V_0 &= V_0^{\text{CO}_2} + V_0^{\text{SO}_2} + V_0^{\text{H}_2\text{O}} + V_0^{\text{N}_2} = \\ &= 1,604 + 0,003 + 1,319 + 8,11 = 11,04 \text{ м}^3/\text{кг}. \end{aligned}$$

Склад димових газів по формулах (4.12):

$$\text{CO}_2 = \frac{V_0^{\text{CO}_2}}{V_0} \cdot 100\% = \frac{1,604}{11,04} \cdot 100\% = 14,53\%;$$

$$\text{SO}_2 = \frac{V_0^{\text{SO}_2}}{V_0} \cdot 100\% = \frac{0,003}{11,04} \cdot 100\% = 0,03\%;$$

$$\text{N}_2 = \frac{V_0^{\text{N}_2}}{V_0} \cdot 100\% = \frac{8,11}{11,04} \cdot 100\% = 73,46\%;$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{V_0^{\text{H}_2\text{O}}}{V_0} \cdot 100\% = \frac{11,139}{11,04} \cdot 100\% = 11,98\%.$$

## 1.5 Визначення кількості ( $V_\alpha$ ) і складу продуктів згорання при $\alpha>1$

Кількості двоокису вуглецю і двоокису сірки залишаються такими ж, як і при  $\alpha=1$ :

$$V_\alpha^{\text{CO}_2} = V_0^{\text{CO}_2} = 1,604 \text{ м}^3 / \text{кг}; \quad V_\alpha^{\text{SO}_2} = V_0^{\text{SO}_2} = 0,003 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Кількість водяної пари збільшиться за рахунок вологи надлишкового повітря по формулі (4.13):

$$V_{\alpha}^{H_2O} = V_0^{H_2O} + 0,00124 \cdot d^{c.B} \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0^{c.B} =$$

$$= 1,319 + 0,00124 \cdot 13,9 \cdot (1,28 - 1) \cdot 10,27 = 1,370 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

За рахунок надлишкового повітря збільшиться і кількість азоту (формула (4.14)):

$$V_{\alpha}^{N_2} = V_0^{N_2} + K \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{O_2} = 8,11 + 3,76 \cdot (1,28 - 1) \cdot 2,157 = 10,383 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

У продуктах згорання з'явиться вільний кисень надлишкового повітря (формула (4.15)):

$$V_{O_2}^{\text{изб}} = (\alpha - 1) \cdot V_{O_2} = (1,28 - 1) \cdot 2,157 = 0,604 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Загальний об'єм продуктів згорання при  $\alpha = 1,26$  визначимо по формулі (4.16):

$$V_{\alpha} = V_{\alpha}^{CO_2} + V_{\alpha}^{SO_2} + V_{\alpha}^{H_2O} + V_{\alpha}^{N_2} + V_{O_2}^{\text{изб}} =$$

$$= 1,064 + 0,003 + 1,368 + 10,38 + 0,604 = 13,96 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Процентний склад продуктів згорання відповідно до формул (4.17) рівний:

$$CO_2 = \frac{V_{\alpha}^{CO_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{1,604}{13,96} \cdot 100\% = 11,48\%;$$

$$SO_2 = \frac{V_{\alpha}^{SO_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{0,003}{13,96} \cdot 100\% = 0,02\%;$$

$$H_2O = \frac{V_{\alpha}^{H_2O}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{1,368}{13,96} \cdot 100\% = 9,81\%;$$

$$N_2 = \frac{V_{\alpha}^{N_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{10,48}{13,96} \cdot 100\% = 74,36\%;$$

$$O_2^{\text{изб}} = \frac{V_{O_2}^{\text{изб}}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{0,604}{13,96} \cdot 100\% = 4,33\%.$$

## 1.6 Перевірка матеріального балансу горіння

Розрахуємо матеріальний баланс горіння мазуту масою в 1000 кг. Для цього спочатку знайдемо прихід в кг, а потім – витрату в кг і порівняємо їх.

Маса мазуту рівна 1000 кг.

Для обчислення витрати повітря перерахуємо повітря на вологу масу по формулах (5.1) – (5.3):

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O}^{\text{B.B.}} &= 100 \cdot d^{\text{C.B.}} / (803,6 + d^{\text{C.B.}}) = 100 \cdot 13,9 / (803,6 + 13,9) = 1,7 \% ; \\ \text{O}_2^{\text{B.B.}} &= (100 - \text{H}_2\text{O}^{\text{B.B.}}) \cdot 21 / 100 = (100 - 1,7) \cdot 21 / 100 = 20,643 \% ; \\ \text{N}_2^{\text{B.B.}} &= (100 - \text{H}_2\text{O}^{\text{B.B.}}) \cdot 79 / 100 = (100 - 1,7) \cdot 79 / 100 = 77,657 \% . \end{aligned}$$

Щільність повітря по формулі (6.3) рівна:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{возд}} &= (\text{H}_2\text{O}^{\text{B.B.}} \cdot 18 + \text{O}_2^{\text{B.B.}} \cdot 32 + \text{N}_2^{\text{B.B.}} \cdot 28) / (100 \cdot 22,4) = \\ &= (1,7 \cdot 18 + 20,643 \cdot 32 + 77,657 \cdot 28) / (100 \cdot 22,4) = 1,279 \text{ кг/м}^3 . \end{aligned}$$

Маса повітря по формулі (6.2) рівна:

$$M_{\text{возд}} = \rho_{\text{возд}} \cdot V \cdot L_{\alpha}^{\text{B.B.}} = 1,279 \cdot 1000 \cdot 13,371 = 17105,776 \text{ кг} .$$

$$\text{Отже, прихід} = M_{\text{топл}} + M_{\text{возд}} = 1000 + 17105,776 = 18105,776 \text{ кг} .$$

Знайдемо масу продуктів горіння.

Щільність продуктів горіння по формулі (6.3) рівна:

$$\begin{aligned} \rho^{\text{ГОР}} &= (\text{CO}_2^{\text{ГОР}} \cdot 44 + \text{SO}_2^{\text{ГОР}} \cdot 64 + \text{H}_2\text{O}^{\text{ГОР}} \cdot 18 + \text{N}_2^{\text{ГОР}} \cdot 28 + \text{O}_2^{\text{изб}} \cdot 32) / \\ &/ (100 \cdot 22,4) = (11,48 \cdot 44 + 0,02 \cdot 64 + 9,73 \cdot 18 + 74,54 \cdot 28 + 4,30 \cdot 32) / \\ &/ (100 \cdot 22,4) = 1,296 \text{ кг/м}^3 . \end{aligned}$$

Маса продуктів горіння:

$$M_{\text{гор}} = \rho^{\text{ГОР}} \cdot V \cdot V_{\alpha} = 1,296 \cdot 1000 \cdot 13,96 = 18104,5 \text{ кг} .$$

Результати перевірки матеріального балансу горіння (при спалюванні  $V=1000$  кг мазуту) зведемо в таблицю:

<i><b>Прихід</b></i>	<i><b>кг</b></i>	<i><b>Витрата</b></i>	<i><b>кг</b></i>
Мазут	1000,0	Продукти горіння	18104,5
Повітря	17105,776		
Разом:	18105,776	Разом:	18104,5

Відповідно до формули (6.1) нев'язка балансу рівна:

$$\begin{aligned} \Delta M &= 100 \cdot | M_{\text{топл}} + M_{\text{возд}} - M_{\text{гор}} | / M_{\text{гор}} = \\ &= 100 \cdot | 18105,776 - 18104,500 | / 18104,500 = 0,71 \% . \end{aligned}$$

Оскільки нев'язка менше 1%, то розрахунок вироблений правильно.

## 2 Розрахунок процесу горіння природного газу

### 2.1 Вихідні дані

Спалюється природний газ, елементарний склад якого на суху масу рівний:

$$\text{CH}_4^{\text{C.Г.}} = 98,0\%; \quad \text{C}_3\text{H}_8^{\text{C.Г.}} = 0,9\%; \quad \text{C}_4\text{H}_{10}^{\text{C.Г.}} = 0,8\%; \quad \text{N}_2^{\text{C.Г.}} = 0,3\%.$$

Вміст вологи сухого газу складає  $d^{\text{C.Г.}} = 5,0 \text{ г/м}^3$ .

Коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 1,15$ .

Температура атмосферного повітря рівна  $t = 10^\circ\text{C}$ .

### 2.2 Перерахунок складу газу на робочу (вологу) масу

Використовуючи формулу (5.1), розрахуємо процентний вміст водяної пари в  $1 \text{ м}^3$  природного газу при вмісті вологи  $d^{\text{C.Г.}} = 5,0 \text{ г/м}^3$  сухого газу:

$$\text{H}_2\text{O}^{\text{B.Г.}} = \frac{100 \cdot d^{\text{C.Г.}}}{803,6 + d^{\text{C.Г.}}} = \frac{100 \cdot 5,0}{803,6 + 5,0} = 0,618 \%$$

По формулі (5.2) обчислимо коефіцієнт перерахунку з сухого газу на вологий:

$$k = \frac{100 - \text{H}_2\text{O}^{\text{B.Г.}}}{100} = \frac{100 - 0,618}{100} = 0,99382.$$

По формулі (5.3) перерахуємо склад газу на робочу масу:

$$\text{CH}_4^{\text{B.Г.}} = k \cdot \text{CH}_4^{\text{C.Г.}} = 0,099382 \cdot 98,0 = 97,394 \%$$

$$\text{C}_3\text{H}_8^{\text{B.Г.}} = k \cdot \text{C}_3\text{H}_8^{\text{C.Г.}} = 0,099382 \cdot 0,9 = 0,894 \%$$

$$\text{C}_4\text{H}_{10}^{\text{B.Г.}} = 0,099382 \cdot 0,8 = 0,796 \%$$

$$\text{N}_2^{\text{B.Г.}} = 0,099382 \cdot 0,3 = 0,298 \%$$

Для перевірки правильності розрахунку підсумовуємо отримані дані по вологовому складу газу:

$$\begin{aligned} & \text{CH}_4^{\text{B.Г.}} + \text{C}_3\text{H}_8^{\text{B.Г.}} + \text{C}_4\text{H}_{10}^{\text{B.Г.}} + \text{N}_2^{\text{B.Г.}} + \text{H}_2\text{O}^{\text{B.Г.}} = \\ & = 97,394\% + 0,894 + 0,796 + 0,298 + 0,618 = 100\% \end{aligned}$$

отже, перерахунок на вологу масу виконаний вірно.

### 2.3 Розрахунок теплоти згорання природного газу

Для обчислення нижчої теплоти згорання скористаємося формулою (3.9), підставивши в неї ті пальні складові, які вказані у вихідних даних і перераховані на робочу масу в п.6.2.2:

$$Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 358 \cdot \text{CH}_4^{\text{B.Г.}} + 913 \cdot \text{C}_3\text{H}_8^{\text{B.Г.}} + 1185 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10}^{\text{B.Г.}} =$$

$$=358 \cdot 97,394 + 913 \cdot 0,894 + 1185 \cdot 0,796 = 36625,5 \text{ кДж/м}^3.$$

## 2.4 Розрахунок кількості кисню і повітря для спалювання 1 м<sup>3</sup> газу

По формулі (5.4) знайдемо об'єм кисню, необхідний для окислення паливних складових природного газу (у формулу підставляємо лише ті хімічні елементи, які дано в завданні; останні, відсутні в газі, прирівнюємо нулю):

$$\begin{aligned} V_{O_2} &= 0,01 \cdot (2CH_4^{B.G.} + 5C_3H_8^{B.G.} + 6,5C_4H_{10}^{B.G.}) = \\ &= 0,01 \cdot (2 \cdot 97,394 + 5 \cdot 0,894 + 6,5 \cdot 0,796) = 2,04432 \text{ м}^3 / \text{м}^3. \end{aligned}$$

Далі по формулі (5.5) знаходимо кількість сухого повітря при  $\alpha = 1$ , необхідне для спалювання 1 м<sup>3</sup> природного газу, використовуючи співвідношення азоту і кисню в повітрі  $K = 3,76$ :

$$L_0^{C.B.} = (1 + K) \cdot V_{O_2} = (1 + 3,76) \cdot 2,04432 = 9,73 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

Практично введена кількість сухого повітря при  $\alpha = 1,15$  по формулі (5.6) складе  $L_\alpha^{C.B.} = \alpha \cdot L_0^{C.B.} = 1,159,73 = 11,19 \text{ м}^3 / \text{м}^3$ .

Далі по таблиці D.5 визначимо вологосодержание сухого атмосферного повітря при температурі 10°C:  $d^{C.B.} = 9,8 \text{ г/м}^3$ .

Теоретична витрата атмосферного повітря по формулі (5.7) рівна:

$$L_0^{B.B.} = (1 + 0,00124 \cdot d^{C.B.}) \cdot L_0^{C.B.} = (1 + 0,00124 \cdot 9,8) \cdot 9,73 = 9,849 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

Дійсна витрата атмосферного повітря при  $\alpha = 1,15$  по формулі (5.8) складе  $L_\alpha^{B.B.} = \alpha \cdot L_0^{B.B.} = 1,15 \cdot 9,849 = 11,326 \text{ м}^3 / \text{м}^3$ .

## 2.5 Розрахунок об'єму і складу продуктів згорання при спалюванні 1 м<sup>3</sup> газоподібного палива

Спочатку по формулах (5.9) – (5.13) знайдемо об'єм продуктів згорання при  $\alpha = 1$ :

$$\begin{aligned} V_0^{CO_2} &= 0,01 \cdot (CH_4^{B.G.} + 3C_3H_8^{B.G.} + 4C_4H_{10}^{B.G.}) = \\ &= 0,01 \cdot (97,394 + 3 \cdot 0,894 + 4 \cdot 0,796) = 1,033 \text{ м}^3 / \text{м}^3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_0^{H_2O} &= 0,01 \cdot (H_2O^{B.G.} + 2CH_4^{B.G.} + 4C_3H_8^{B.G.} + 5C_4H_{10}^{B.G.}) = \\ &= 0,01 \cdot (0,618 + 2 \cdot 97,394 + 4 \cdot 0,894 + 5 \cdot 0,796) = 2,03 \text{ м}^3 / \text{м}^3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_0^{N_2} &= 0,01 \cdot N_2^{B.G.} + 3,76 \cdot V_{O_2} = \\ &= 0,01 \cdot 0,3 + 3,76 \cdot 2,04432 = 7,689 \text{ м}^3 / \text{м}^3. \end{aligned}$$

Тоді  $V_0 = 1,033 + 2,03 + 7,689 = 10,752 \text{ м}^3 / \text{м}^3$ .

При  $\alpha = 1,15$  зміниться величина вмісту азоту ( $N_2$ ), внесеного з лишком повітря, і додасться надлишковий кисень  $O_2^{\text{изб}}$  (див. формули (5.14) і (5.15)):

$$\begin{aligned} V_{\alpha}^{N_2} &= 0,01 \cdot N_2^{\text{Б.Г.}} + \alpha \cdot K \cdot V_{O_2} = \\ &= 0,01 \cdot 0,3 + 1,15 \cdot 3,76 \cdot 2,04432 = 8,84 \text{ м}^3 / \text{м}^3, \\ V_{O_2}^{\text{изб}} &= (\alpha - 1) \cdot V_{O_2} = (1,15 - 1) \cdot 2,04432 = 0,307 \text{ м}^3 / \text{м}^3. \end{aligned}$$

По формулі (5.16) об'єм водяної пари рівний:

$$\begin{aligned} V_{\alpha}^{H_2O} &= V_0^{H_2O} + \frac{0,00124 \cdot d^{\text{С.В.}} \cdot L_{\alpha}^{\text{Б.В.}}}{1 + 0,00124 \cdot d^{\text{С.В.}}} = \\ &= 2,03 + \frac{0,00124 \cdot 9,8 \cdot 11,326}{1 + 0,00124 \cdot 9,8} = 2,166 \text{ м}^3 / \text{м}^3 \end{aligned}$$

Тепер по формулі (5.17) об'єм продуктів згорання рівний:

$$\begin{aligned} V_{\alpha} &= V_{\alpha}^{CO_2} + V_{\alpha}^{SO_2} + V_{\alpha}^{H_2O} + V_{\alpha}^{N_2} + V_{O_2}^{\text{изб}} = \\ &= 1,033 + 0 + 2,166 + 8,84 + 0,307 = 12,35 \text{ м}^3 / \text{м}^3. \end{aligned}$$

Склад продуктів згорання при  $a = 1$  знайдемо по формулах (4.12):

$$\begin{aligned} CO_2 &= \frac{V_0^{CO_2}}{V_0} \cdot 100\% = \frac{1,033}{10,752} \cdot 100\% = 9,60\%; \\ H_2O &= \frac{V_0^{H_2O}}{V_0} \cdot 100\% = \frac{2,03}{10,752} \cdot 100\% = 18,88\%; \\ N_2 &= \frac{V_0^{N_2}}{V_0} \cdot 100\% = \frac{7,69}{10,752} \cdot 100\% = 71,52\%. \end{aligned}$$

Склад продуктів згорання при  $a = 1,15$  відповідно до формул (4.17) рівний:

$$\begin{aligned} CO_2 &= \frac{V_{\alpha}^{CO_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{1,033}{12,35} \cdot 100\% = 8,36\%; \\ H_2O &= \frac{V_{\alpha}^{H_2O}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{2,03}{12,35} \cdot 100\% = 17,54\%; \\ N_2 &= \frac{V_{\alpha}^{N_2}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{8,84}{12,35} \cdot 100\% = 71,62\%; \end{aligned}$$

$$O_2^{\text{изб}} = \frac{V_{O_2}^{\text{изб}}}{V_{\alpha}} \cdot 100\% = \frac{0,307}{12,35} \cdot 100\% = 2,48 \%$$

## 2.6 Перевірка матеріального балансу горіння

Розрахуємо матеріальний баланс горіння природного газу об'ємом  $V=100 \text{ м}^3$ .

Щільність палива по формулі (6.3) рівна:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{топл}} &= 16 \cdot \text{CH}_4^{\text{B.Г.}} + 44 \cdot \text{C}_3\text{H}_8^{\text{B.Г.}} + 58 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10}^{\text{B.Г.}} + 28 \cdot \text{N}_2^{\text{B.Г.}} + 18 \cdot \text{H}_2\text{O}^{\text{B.Г.}} = \\ &= 16 \cdot 97,394\% + 44 \cdot 0,894\% + 58 \cdot 0,795\% + 28 \cdot 0,298\% + 18 \cdot 0,618\% = \\ &= 0,743 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Маса природного газу по формулі (6.2) рівна:

$$M_{\text{топл}} = \rho_{\text{топл}} \cdot V = 0,743 \cdot 100 = 74,252 \text{ кг.}$$

Виробимо перерахунок повітря на вологу масу по формулах (5.1) – (5.3):

$$\text{H}_2\text{O}^{\text{B.B.}} = 100 \cdot d^{\text{C.B.}} / (803,6 + d^{\text{C.B.}}) = 100 \cdot 9,80 / (803,6 + 9,80) = 1,205 \%$$

$$\text{O}_2^{\text{B.B.}} = (100 - \text{H}_2\text{O}^{\text{B.B.}}) \cdot 21 / 100 = (100 - 1,205) \cdot 21 / 100 = 20,747 \%$$

$$\text{N}_2^{\text{B.B.}} = (100 - \text{H}_2\text{O}^{\text{B.B.}}) \cdot 79 / 100 = (100 - 1,205) \cdot 79 / 100 = 78,048 \%$$

Щільність повітря по формулі (6.3) рівна:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{возд}} &= (\text{H}_2\text{O}^{\text{B.B.}} \cdot 18 + \text{O}_2^{\text{B.B.}} \cdot 32 + \text{N}_2^{\text{B.B.}} \cdot 28) / (100 \cdot 22,4) = \\ &= (1,205 \cdot 18 + 20,747 \cdot 32 + 78,048 \cdot 28) / (100 \cdot 22,4) = 1,282 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Маса повітря по формулі (6.2) рівна:

$$M_{\text{возд}} = \rho_{\text{возд}} \cdot V \cdot L_{\alpha}^{\text{B.B.}} = 1,282 \cdot 100 \cdot 11,326 = 1451,667 \text{ кг.}$$

$$\text{Отже, прихід} = M_{\text{топл}} + M_{\text{возд}} = 74,252 + 1451,667 = 1525,920 \text{ кг.}$$

Знайдемо масу продуктів горіння.

Щільність продуктів горіння по формулі (6.3) рівна:

$$\begin{aligned} \rho^{\text{гор}} &= (\text{CO}_2^{\text{ГОР}} \cdot 44 + \text{SO}_2^{\text{ГОР}} \cdot 64 + \text{H}_2\text{O}^{\text{ГОР}} \cdot 18 + \text{N}_2^{\text{ГОР}} \cdot 28 + \text{O}_2^{\text{изб}} \cdot 32) / \\ &/ (100 \cdot 22,4) = (8,36 \cdot 44 + 17,54 \cdot 18 + 71,61 \cdot 28 + 0,31 \cdot 32) / (100 \cdot 22,4) = \\ &= 1,236 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Маса продуктів горіння:

$$M_{\text{гор}} = \rho^{\text{гор}} \cdot V \cdot L_{\alpha}^{\text{B.B.}} = 1,236 \cdot 100 \cdot 11,326 = 1525,959 \text{ кг.}$$

Результати перевірки матеріального балансу горіння (при спалюванні  $V=100 \text{ м}^3$  газу) зведемо в таблицю:

<i>Прихід</i>	<i>кг</i>	<i>Витрати</i>	<i>кг</i>
Природний газ	74,252	Продукти горіння	1525,959
Повітря	1451,667		
Разом:	1525,920	Разом:	1525,959

Відповідно до формули (6.1) нев'язка балансу дорівнює:

$$\begin{aligned} \Delta M &= 100 \cdot |M_{\text{топл}} + M_{\text{возд}} - M_{\text{гор}}| / M_{\text{гор}} = \\ &= 100 \cdot |1525,920 - 1525,959| / 1525,959 = 0,003 \%. \end{aligned}$$

Оскільки нев'язка менше 1%, то розрахунок вироблений правильно.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ І СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МАТЕМАТИКИ І ПРОГРАМУВАННЯ

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до виконання курсових робіт  
з навчальної дисципліни  
«ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ПРОГРАМУВАННЯ»  
для студентів напряму підготовки :  
6.050601 «Теплоенергетика»

Укладачі: Копитова Ольга Михайлівна, к.ф.-м.н., доцент  
Грідін Сергій Васильович, к.т.н., доцент  
Славінська Людмила Василівна, ст. викладач

83000, м. Донецьк, вул. Артема, 58, ДОННТУ