

В.В. Шевченко, В.В. Бондаренко

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА
РЕМОНТУ ВАГОНІВ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Харків 2009

УДК 681.3.06
ББК 65.9(2) 21

Шевченко В.В., Бондаренко В.В. _ Автоматизація проектування та ремонту вагонів: Навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 206 с.

ISBN 978-966-2033-02-1

Розглянуто приклади автоматизованого розрахунку вагонів та систем їх технічного обслуговування і ремонту. Викладені основи Mathcad та Excel як інструментів математичного аналізу систем. Основна увага приділяється практичному виконанню автоматизованого розрахунку з використанням методу «що – якщо».

Посібник призначений для студентів навчальних закладів залізничного транспорту, а також може бути корисним науково-технічним працівникам, які пов'язані з проектуванням, ремонтом та експлуатацією рухомого складу.

Іл. 104, бібліогр.: 11 назв.

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом «Транспортні технології».
(№ 1.4\18-Г-2116 від 13.10.2008).

Рецензенти:

професори І.Г. Миренський (ХНАМГ),
В.Г. Маслієв (НТУ «ХП»)

© В.В. Шевченко, В.В. Бондаренко, 2009
© Українська державна академія
залізничного транспорту, 2009

ЗМІСТ

	Вступ	5
1.	Основи роботи з Mathcad	6
1.1.	Інтерфейс користувача	7
1.2.	Введення, редагування формул та тексту	13
1.3.	Обчислення	24
1.4.	Символьні обчислення	33
1.5.	Програмування	47
1.6.	Графіки	57
2.	Система електронних таблиць Excel	68
2.1.	Початок роботи	69
2.1.1.	Елементи екрана Excel	69
2.1.2.	Комірка робочого аркуша	72
2.1.3.	Введення формул в комірки	73
2.2.	Функції Excel	75
2.2.1.	Майстер функцій	75
2.2.2.	Математичні функції	78
2.2.3.	Статистичні функції	81
2.2.4.	Логічні функції	82
2.3.	Оформлення робочого аркуша	84
2.3.1.	Формати даних	84
2.3.2.	Діапазон комірок	87
2.3.3.	Вирівнювання тексту	89
2.3.4.	Шрифти, рамки і колір фону	90
2.3.5.	Приклад розрахунку координат центра ваги перерізу	95
3.	Розрахунок вагонів у середовищі Mathcad ...	102
3.1.	Схід пасажирського вагона з рейок	102
3.2.	Стійкість вагона від вижимання повздовжніми силами	106
3.3.	Стійкість візка вантажного вагона від сходження з рейок	110
3.4.	Вписування вагона в габарит	115
3.5.	Перехідні процеси в динаміці вагонів	123
4.	Автоматизація розрахунку параметрів механізмів і машин, що застосовуються при ремонті вагонів	130

4.1.	Розрахунок силових головок автоматів	130
4.2.	Розрахунок гідросистеми мийної машини	134
4.3.	Розрахунок потужності електродвигуна та параметрів кантувачів і поворотних кругів	142
4.4.	Розрахунок потужності двигуна пластинчастого конвеєра	144
4.4.1.	Розрахунок параметрів та потужності двигуна конвеєра	144
4.4.2.	Вибір типу двигуна	147
4.4.2.1.	Вбудовування компонентів у документ Mathcad	147
4.4.2.2.	Компонент Excel	148
4.4.2.3.	Вбудовування Excel-компонента в Mathcad	151
4.5.	Розрахунок потужності двигунів та параметрів роликів конвеєрів	155
4.6.	Розрахунок потужності двигунів та параметрів підйомних механізмів	162
4.7.	Розрахунок пневматичного приводу	165
4.8.	Розрахунок гідравлічного приводу	170
5.	Застосування Mathcad та Excel для розрахунків у задачах вагонного господарства	174
5.1.	Розрахунок чисельності робочих пункту технічного обслуговування вагонів	174
5.1.1.	Середні витрати праці на огляд та безвідчепний ремонт одного складу	174
5.1.2.	Розрахунок чисельності робочих ремонтних бригад і тривалості обробки складів на ПТО	177
5.1.3.	Оптимальна тривалість простою складів під обробкою на ПТО	179
5.2.	Розрахунок потреби депо в устаткуванні	180
5.3.	Розрахунок кількості вагонів, що приписані до пасажирського депо	189
5.4.	Прогнозування парку пасажирських вагонів	193
5.4.1.	Метод ковзного середнього	194
5.4.2.	Лінійний прогноз	197
5.4.3.	Нелінійний прогноз	200
5.4.4.	Регресійний аналіз за допомогою діаграм	201
	Список літератури	205

ВСТУП

Розвиток вагонобудування та вагонного господарства супроводжується ускладненням конструкцій вагонів, машин і механізмів, що застосовуються при ремонті вагонів. Це призводить до збільшення як вартості дослідно-конструкторських розробок, так і часу, котрий витрачається на пошук конструкторського рішення. Реальним шляхом подолання таких труднощів і підвищення якості проектування є створення систем автоматизованого проектування з відповідним математичним та технічним забезпеченням проектно-конструкторських робіт.

Сучасний розвиток математичного забезпечення та впровадження швидкодіючих обчислювальних машин у промислове виробництво істотно покращує традиційні методи проектування вагонів.

Мета автоматизації проектування полягає у підвищенні якості, зниженні матеріальних витрат, скороченні термінів проектування, підвищенні продуктивності праці проектувальників.

Зараз питанням автоматизованого проектування приділяється велика увага як в нашій країні, так і за кордоном. Як правило, в основу розроблення системи автоматизованого проектування закладається «модульний» принцип: вся система складається з окремих взаємопов'язаних модулів для розрахунку окремих характеристик. До таких модулів належать комплекси програм для розрахунку геометричних, динамічних, експлуатаційних та інших характеристик вагона.

Безперечну роль у завданні випуску нових конструкцій вагонів та підвищенні якості їх ремонту відіграє підготовка фахівців, яку, на думку авторів, слід вести в двох напрямках. Перший напрямок – це підвищення рівня комп'ютерної підготовки фахівців у вузах, другий – оволодіння знаннями у зазначеній області проектувальниками та конструкторами проектних організацій і різних КБ у процесі практичної роботи. В обох випадках однією з умов успішної підготовки фахівців є наявність необхідної навчальної та спеціальної літератури. Слід зазначити, що у наш час видається безліч книг, присвячених окремим питанням автоматизованого проектування. Проте

завдання автоматизації проектування, ремонту й експлуатації вагонів поки не знайшли широкого відображення в навчальній літературі.

Опис окремих питань у ряді випадків має спрощений характер. Навчальний посібник ставить своєю метою підготовку читача до успішного вирішення практичних завдань автоматизації проектування, ремонту та експлуатації вагонів.

1. ОСНОВИ РОБОТИ З MATHCAD

Mathcad – це потужний і в той же час простий, універсальний математичний пакет, розроблений компанією MathSoft. За його допомогою можливо вирішувати задачі в різних галузях науки, техніки, організації виробництва та управління.

У наш розроблено безліч різних математичних систем: Maple, Matlab, Mathematica та ін. Популярність Mathcad викликана рядом особливостей.

По-перше, Mathcad дозволяє створювати документ у звичному для інженера вигляді – як поєднання тексту і формул. Запис завдання в Mathcad наближений до запису завдання без використання комп'ютера.

По-друге, система Mathcad – це універсальна математична система. Для вирішення складних завдань в аналітичному вигляді краще застосовувати Maple, а для вирішення складних завдань лінійної алгебри – Matlab. Mathcad поєднує в собі властивості Maple і Matlab: дозволяє вирішувати задачі лінійної алгебри, а також виконувати рішення в аналітичному вигляді.

По-третє, Mathcad має просту, але достатньо могутню систему представлення результатів розрахунків у вигляді різних видів графіків.

По-четверте, Mathcad може взаємодіяти з іншими програмами. Наприклад, дані Mathcad можуть оброблятися програмою Excel, потім знову використовуватись у Mathcad.

Mathcad дозволяє записувати математичні вирази із застосуванням загальноприйнятих символів (квадратний корінь, знак ділення – у вигляді горизонтальної межі, знак інтеграла, диференціала, суми та ін.).

1.1. Інтерфейс користувача

Відразу після запуску система готова до створення документа. Інтерфейсом користувача прийнято називати сукупність засобів графічної оболонки Mathcad, що забезпечує легке управління системою як з клавіатури, так і за допомогою миші.

Складовими частинами інтерфейсу є (рис. 1.1):

- рядок меню;
- панелі інструментів **Стандартная** (Стандартна) і **Форматирование** (Форматування);
- панель інструментів **Math** (Математика) та доступні через неї додаткові математичні панелі інструментів;
- робоча область;
- рядок стану;
- спливаючі або контекстні меню;
- діалогові вікна або діалоги.

Команди можна виконувати як за допомогою меню (головного або контекстного), так і панелей інструментів або клавіатури.

Верхній рядок вікна системи (рядок заголовка) відображає ім'я системи і поточного відкритого вікна. У другому рядку головного вікна розташовані пункти головного меню. Натискання миші на кожному з пунктів головного меню призводить до появи відповідного меню з переліком команд:

Файл – робота з файлами (створення, відкриття, збереження);

Редактирование (Редагування) – команди, що належать до правлення тексту (копіювання, вставлення, видалення);

Вид – команди, що управляють зовнішнім виглядом документа у вікні редактора Mathcad;

Вставка – команди вставлення різних об'єктів та їх шаблонів (включаючи графіку);

Формат – команди форматування тексту, формул, графіків;

Математика – команди управління обчислювальним процесом;

Символика (Символіка) – команди символічних обчислень;
Окно (Вікно) – команди управління розташуванням вікон з різними документами на екрані;
Справка (Довідка) – робота з довідковою базою даних системи.

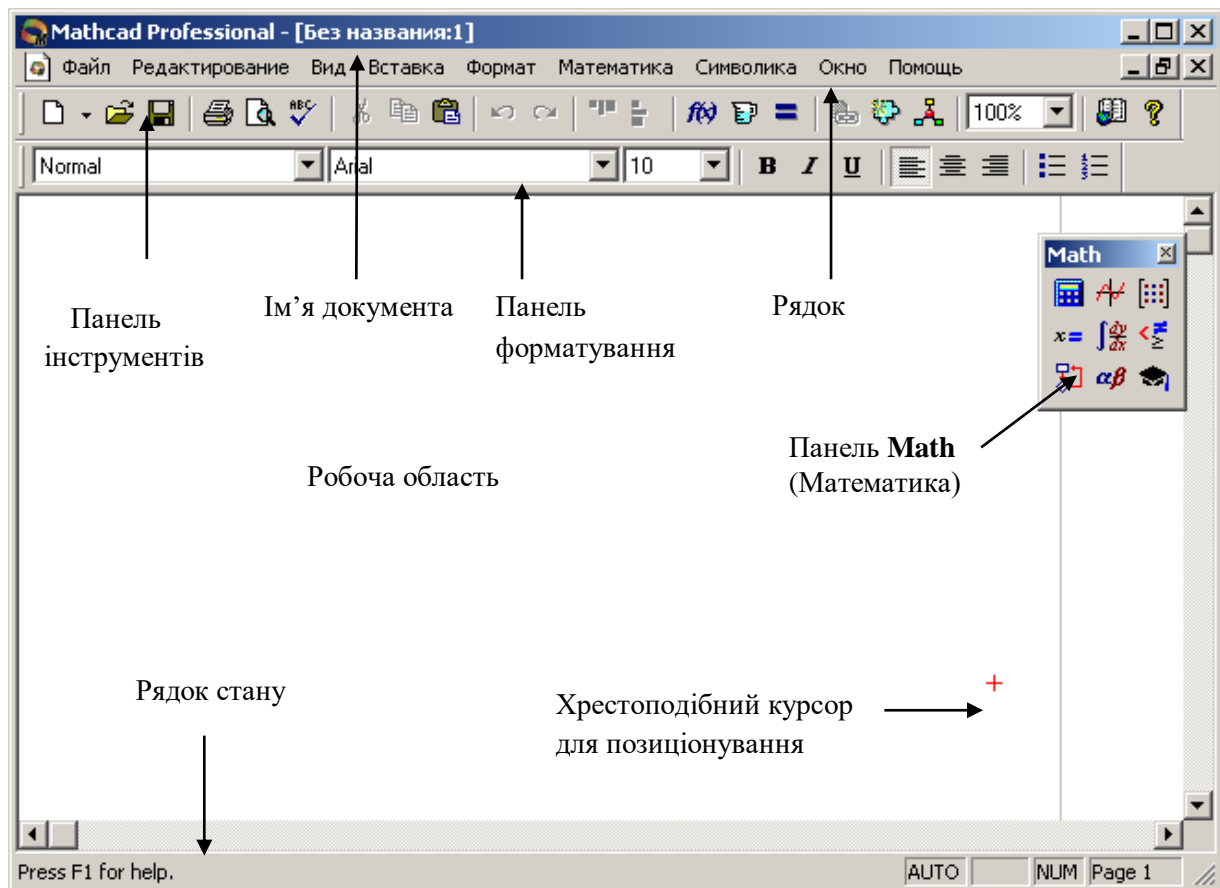


Рис. 1.1

Для вибору потрібної команди клацніть мишею на меню, що містить її, а потім на відповідному елементі меню. Деякі команди знаходяться не в самому меню, а в підменю. Щоб вибрати таку команду, клацніть мишею на команді головного меню. З'явиться підменю, в якому наведіть покажчик миші на пункт відповідного елемента та клацніть мишею (рис. 1.2).

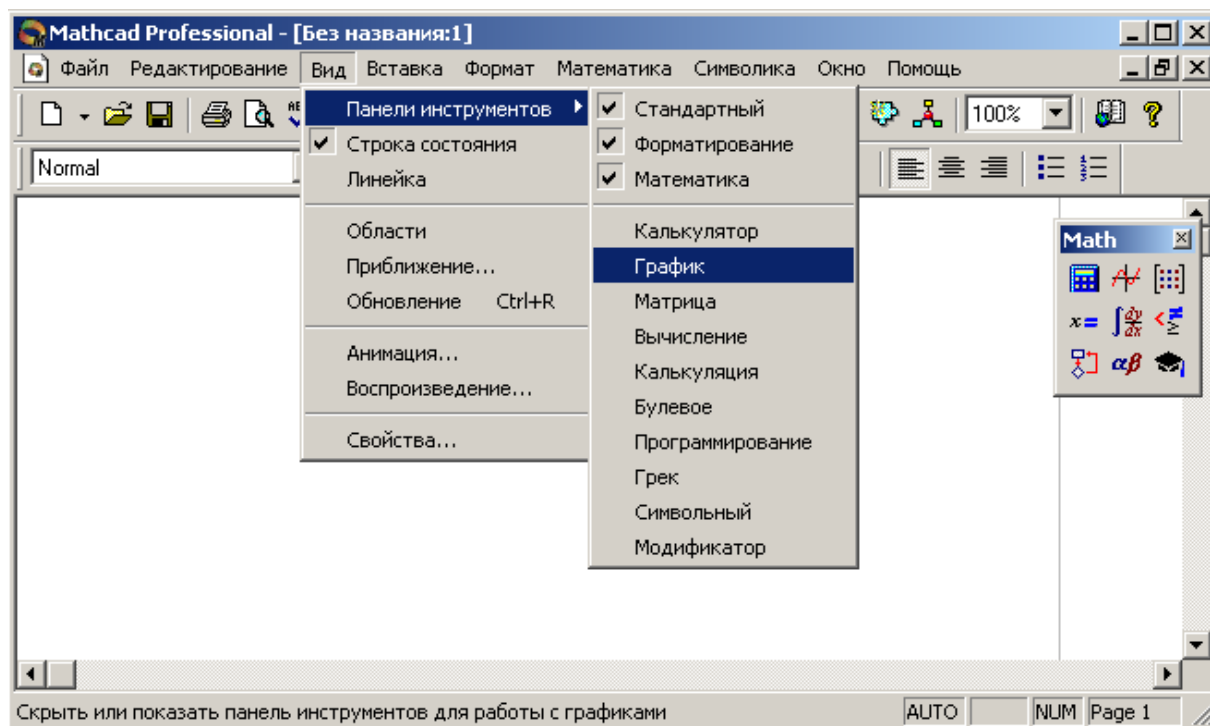


Рис. 1.2

Ознакою того, що пункт меню містить підменю, є стрілка (як у пункті **Панель инструментов** (Панель інструментів) на рис. 1.2). Крім того, деякі пункти меню мають прапорці, що вказують на включення (або виключення) відповідної опції у даний момент. Так, на рис. 1.2 прапорці виставлені в пунктах **Стандартный** (Стандартний), **Форматирование** (Форматування) і **Математика**, що говорить про наявність у даний момент на екрані панелей інструментів **Стандартный** (Стандартний), **Форматирование** (Форматування) і **Math** (Математика). Прапорці ж у пунктах **Калькулятор**, **График** (Графік), **Матрица** (Матриця) та ін. відсутні. Це означає, що в даний момент відповідні панелі вимкнені.

Деякі функції верхнього меню виконуються спливаючими меню. Вони з'являються в будь-якому місці екрана при натисненні правої кнопки миші. Вид спливаючих меню залежить від місця їх виклику. Їх також називають контекстними меню (рис. 1.3).

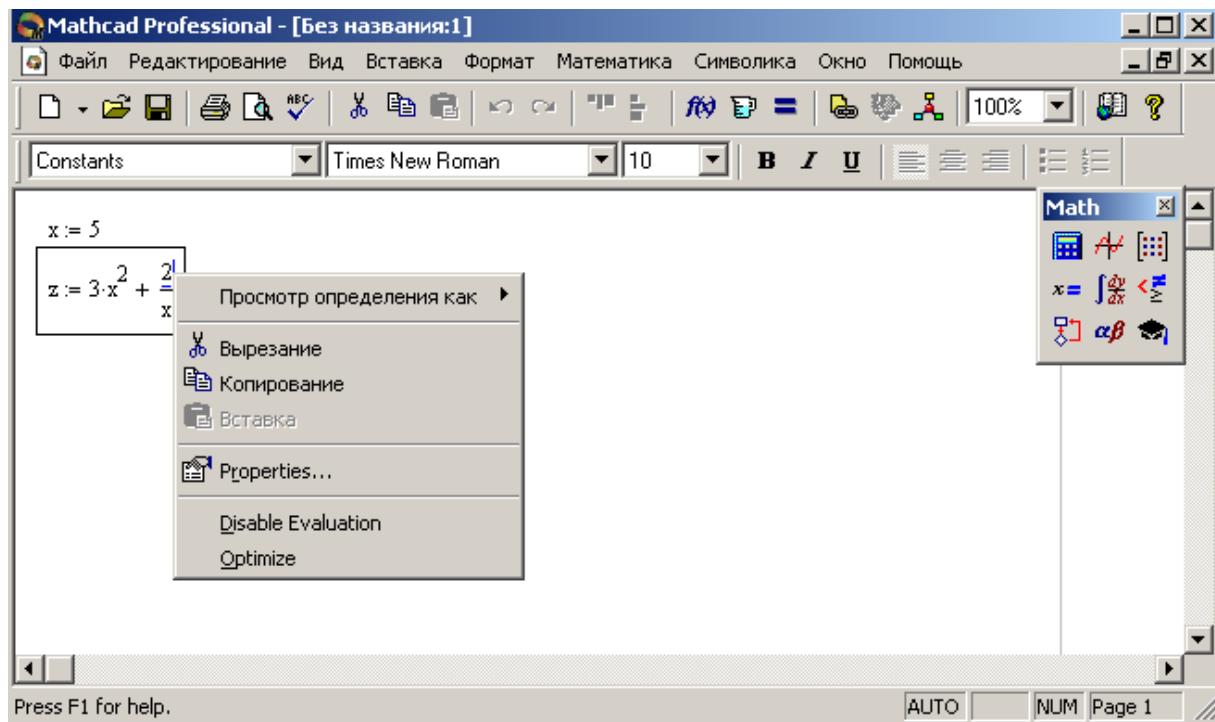


Рис. 1.3

Основними панелями інструментів є:


Стандартная (Стандартна) – призначена для виконання більшості операцій, таких як дії з файлами, редагування, вставлення об'єктів, доступ до довідкової системи;

Форматирование (Форматування) – служить для форматування (зміни типу і розмірів шрифту, вирівнювання тощо);


Math (Математика) – для введення математичних символів і виразів у звичному форматі.


Панель **Math** (Математика) в свою чергу складається з дев'яти панелей.


Кнопки панелі **Math** (Математика) мають наступне призначення.


 Кнопка відображає панель інструментів **Calculator** (Калькулятор). Ця панель служить для завдання арифметичних операцій, а також деяких функцій, що використовуються найчастіше (наприклад, тригонометричні функції, логарифми та


ін.). Ця панель часто використовується як калькулятор. Кнопка з піктограмою « := » призначена для введення оператора локального привласнення, що задає певне значення функції або змінної.


 Кнопка призначена для виведення панелі **Graph** (Графік). За допомогою цієї панелі можна будувати графіки різних типів.


 Кнопка призначена для відображення панелі **Matrix** (Матриця). Ця панель призначена для вставки матриць та матричних операторів.


 Кнопка для відображення панелі інструментів **Evaluation** (Оцінювання), що призначена для вставлення операторів управління обчисленнями. Панель містить кнопки введення операторів локального та глобального привласнення значень змінних і функцій, кнопку зі стрілкою для символічного обчислення виразів та чотири кнопки, що дозволяють самостійно визначати оператора.

 Кнопка відображає панель інструментів **Calculus** (Обчислення). Інструменти цієї панелі дозволяють виконувати диференціювання, інтеграцію, а також знаходити суми та межі. У цій панелі також знаходиться кнопка введення символу нескінченності.

 Кнопка відображення панелі інструментів **Boolean** (Булеві оператори). Ця панель містить кнопки для введення операторів порівняння (більше, менше та ін.) і кнопки введення логічних операторів (і, або, ні).

 Кнопка відображення панелі інструментів **Programming** (Програмування). Ця панель містить кнопки для програмування засобами Mathcad.

 Кнопка відображення панелі інструментів **Greek** (Грецькі символи). Панель містить кнопки для введення грецьких букв.

 Кнопка відображення панелі інструментів **Symbolic** (Символіка). Інструменти цієї панелі призначені для виконання символічних обчислень.

На рис. 1.4 показані всі панелі інструментів Mathcad.

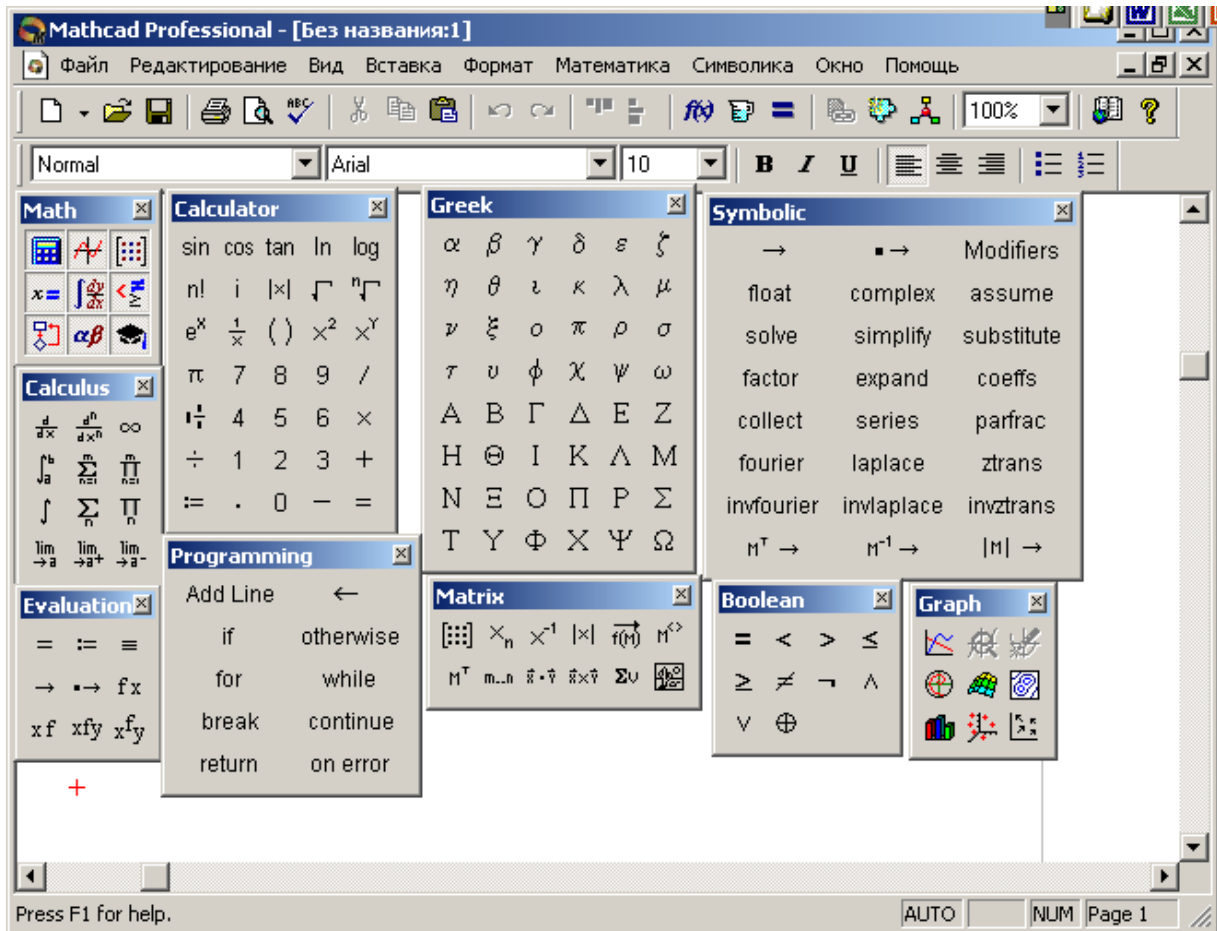


Рис. 1.4

Будь-яку панель можна вивести на екран. Для цього за допомогою команди **Вид - Панелі інструментів** (Панелі інструментів) вибрати в підменю ім'я потрібної панелі (див. рис. 1.2).

Математичні панелі можна визвати на екран або приховати натисненням відповідної кнопки панелі **Math** (Математика). Панелі можна переміщувати в будь-якому місці екрана, змінювати їх форму.

1.2. Введення, редагування формул та тексту

Система Mathcad фактично інтегрує в собі три редактори: формул, текстовий та графічний.

Редактор формул використовує такі елементи інтерфейсу: покажчик миші, курсор та місцезаповнювачі. Покажчик миші слідує за рухом миші та виконує звичайну для додатків Windows роль. У середині документа завжди знаходиться курсор, що має один з трьох видів:

- курсор введення, який має вид маленького хрестика червоного кольору, котрий відображає порожнє місце в документі, куди можна вводити текст або формули;
- лінії введення – горизонтальна та вертикальна лінії синього кольору, що виділяють в тексті або формулі певну частину;
- лінія введення тексту – вертикальна лінія для введення текстової області.

Місцезаповнювачі з'являються в тих місцях формули, що мають бути заповнені символами. Місцезаповнювач має вигляд чорного прямокутника.

Курсори і місцезаповнювач, що належать до введення та редагування формул, мають такий вигляд, як на рис. 1.5.

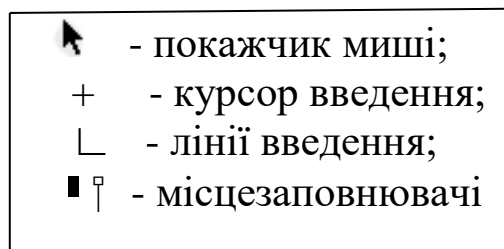


Рис. 1.5

Користувач спілкується із системою Mathcad на деякій проміжній математично орієнтованій мові візуального програмування – вхідній мові. Більшість математичних записів у

цій мові робляться просто виведенням шаблонів відповідних операцій. Ця мова настільки наближена до звичної мови опису математичних завдань, що його використання не вимагає спеціальної підготовки.

Спеціальні символи, котрі вказують на виконання тих або інших операцій над даними, називаються операторами. Дані подаються у вигляді операндів, що можуть бути константами або змінними – об'єктами з ім'ям, що зберігають дані певного типу і значення. Прикладами можуть бути операції складання, віднімання, множення, ділення та ін.

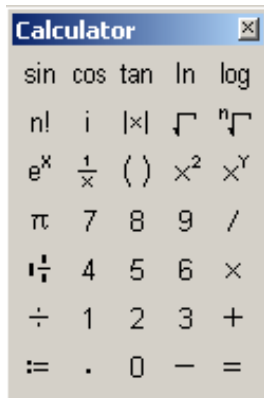
Функції – об'єкти вхідної мови, що мають ім'я та параметри, котрі вказуються у круглих дужках. Наприклад, функція $\sin(x)$ має ім'я « \sin » та параметр « x ».

Оператори та функції складають основу математичних виразів – формул, що можна обчислити в числовому або символічному вигляді.

Змінним можна привласнювати значення. Привласнення значення змінної виконується за допомогою символа привласнення « $:=$ ». Він схожий на знак рівності, котрий звичайно використовується в математиці. Проте між ними є істотна різниця. Символ « $:=$ » використовується для привласнення значення змінної (еквівалент оператора Input в Qbasic), у той же час, як символ « $=$ » використовується для виведення значення змінної (еквівалент оператора Print). Якщо спробувати при першому введенні привласнити змінній значення за допомогою символа « $=$ », то Mathcad автоматично замінить його на символ « $:=$ ».

Документ Mathcad можна вводити в будь-якому вільному місці робочого аркуша. Для цього достатньо клацнути мишею у бажаному місці документа, після чого з'явиться курсор введення у вигляді червоного хрестика.

Введення формул зручно виконувати за допомогою панелі **Calculate** (Розрахувати) (рис. 1.6).




Наведемо приклад послідовності дій при введенні формул:


$$a=0.15;$$

$$b=1;$$

$$K_{дв}=a+3.6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot (v-15) / f_{ст}.$$


Рис. 1.6 1. Клацніть мишею для позначення місця введення.

2. Введіть з клавіатури букву « а » – у цьому місці замість курсора введення з'явиться область з формулою, що містить один символ « а », причому він буде виділений лінією введення .

3. На панелі **Calculate** (Розрахувати) клацніть мишею по кнопці « := » – **Присвоить значение** (Привласнити значення), після чого з'явиться місцезаповнювач . Потім натисніть на панелі інструментів на кнопки « 0, ., 1, 5 » або наберіть на клавіатурі число 0.15. Так само введіть ще дві формули:

$$b:=1; \quad v:=40.$$

4. Скалярна змінна може мати індекс імені. Така змінна, крім імені, має підрядковий індекс, що може складатися з декількох символів.

Клацніть мишею на вільному місці і введіть букву « f ». На панелі **Calculator** (Калькулятор) натисніть на кнопку **Десятничная точка** (Десяткова крапка) « . » або введіть крапку з клавіатури, а потім введіть букви «ст». При цьому букви «ст» утворюють підрядковий індекс імені, а синій куточок ліній введення охоплюватиме все ім'я: . Натисніть на кнопку « := » та введіть число 0.05. Формула матиме такий вигляд:

$$f_{ст}:=0.05.$$

5. Клацніть мишею на вільному місці і введіть ім'я змінної $k_{дв}$. На панелі **Calculate** (Розрахувати) натисніть на кнопку «:=», введіть букву «а», потім послідовно натисніть на кнопки «+», «3», «.», «6», «×», «1», «0» та на кнопку **Возведение в степень** (Зведення у степінь) « x^y ».

$$k_{дв} := a + 3.6 \cdot 10^$$

6. У формулі з'явиться місцезаповнювач , у якому за допомогою кнопок «-», «4» введіть показник степеня. Двічі натисніть клавішу «Space» (Пробіл), щоб куточок ліній введення охоплював повністю число 10^{-4} :

$$k_{дв} := a + 3.6 \cdot 10^{-4}$$

7. На панелі **Calculate** (Розрахувати) натисніть на кнопку «×» – **Умножение** (Множення), введіть букву «b», знову натисніть на кнопку «×» і на кнопку «/» – **Деление** (Ділення).

8. У формулу буде вставлений дріб

$$k_{дв} := a + 3.6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{v-15}{f_{ст}}$$

Введіть у чисельник «v-15». Скопіюйте ім'я змінної « $f_{ст}$ », вставте в місцезаповнювач знаменник і клацніть на вільному місці. Формула набуде вигляду

$$k_{дв} := a + 3.6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{v-15}{f_{ст}}$$

9. Клацніть на вільному місці та введіть ім'я змінної « $k_{дв}$ ». На панелі інструментів **Calculate** (Розрахувати) клацніть на кнопці «=» – **Знак равенства** (Знак рівності) або введіть знак рівності з клавіатури.

Остаточний вигляд документа показаний на рис. 1.7.

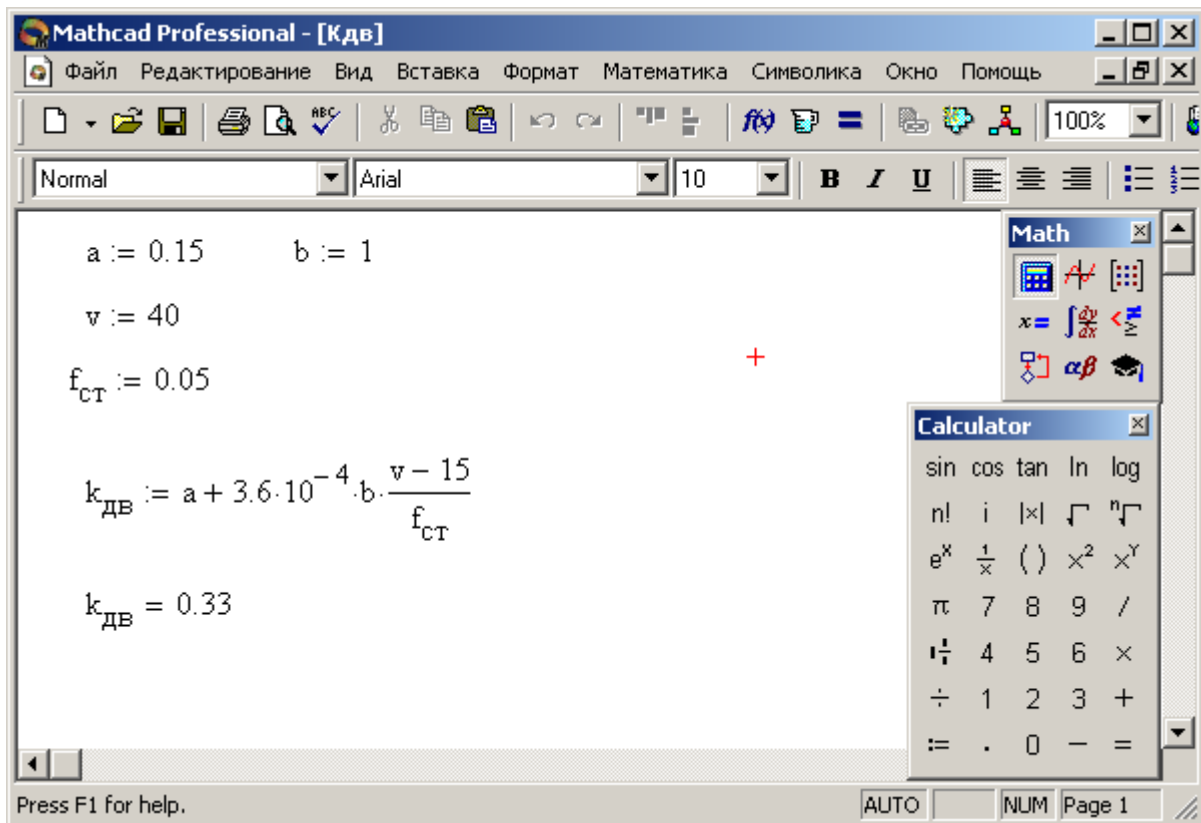


Рис. 1.7

У процесі редагування необхідно перемістити курсор до того місця, в якому потрібна зміна формули. Якщо клацнути мишею в потрібному місці формули, з'являться лінії введення:

$$k_{\text{дв}} := a + \underline{3.6} \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{v - 15}{f_{\text{ст}}}$$

Перемістити лінію введення можна одним з наступних способів:

- натиснути на клавіатурі клавішу зі стрілками ← (вліво), ↑ (вгору), → (вправо), ↓ (вниз);
- натиснути на клавіатурі клавішу «Ins». При цьому вертикальна лінія введення перекладається з одного кінця горизонтальної лінії введення на протилежний;
- натиснути на клавіатурі клавішу «Space» (Пробіл) для виділення різних частин формули.

Якщо куточок вертикальної і горизонтальної лінії введення направлений вправо, то при натисненні на клавішу «Space» (Пробіл) вертикальна лінія введення переміщатиметься вправо.

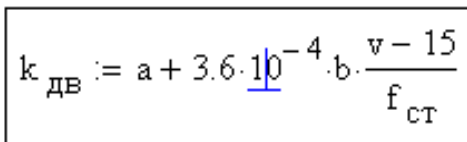
Таким чином, комбінація клавіш зі стрілками, клавіші пропуску і клавіші «Ins» дозволяє легко переміщатися усередині формули.

Для виділення частини формули необхідно клацнути лівою клавішею миші на формулі і перемістити лінії введення до початку частини формули, що виділяється. Натиснути ліву кнопку миші і перемістити покажчик миші уздовж горизонтальної лінії введення доти, поки не буде виділена потрібна частина формули. Відпустити ліву кнопку миші, після чого частина формули буде виділена кольором.

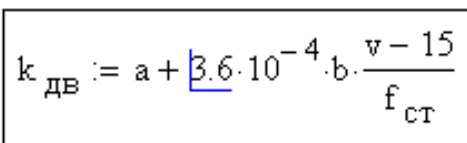
Щоб видалити частину формули потрібно її виділити та натиснути клавішу «Del». Крім того, можна видалити частину формули за допомогою клавіші «BackSpace».

Для правлення частини формули можна використовувати команди **Вырезание** (Вирізування), **Копирование** (Копіювання) та **Вставка** (Вставлення).

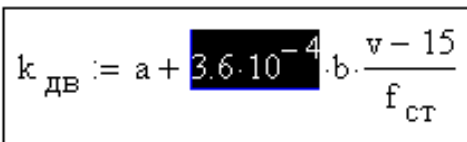
Приведемо приклад редагування формули.


$$k_{\text{дв}} := a + 3.6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{v-15}{f_{\text{ст}}}$$

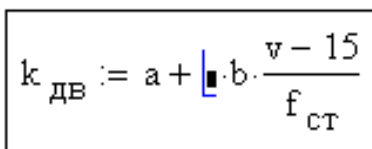
Клацнути на формулі.


$$k_{\text{дв}} := a + 3.6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{v-15}{f_{\text{ст}}}$$

Перемістити лінію введення до початку частини формули, що видаляється.


$$k_{\text{дв}} := a + 3.6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{v-15}{f_{\text{ст}}}$$

Утримуючи натиснутою клавішу «Shift», кілька разів натиснути на клавіатурі клавішу - стрілку «С», і виділити частину формули.


$$k_{\text{дв}} := a + \cdot b \cdot \frac{v-15}{f_{\text{ст}}}$$

На клавіатурі натиснути клавішу «Delete» для видалення місця заповнювача.

$$k_{\text{дв}} := a + b \cdot \frac{v - 15}{f_{\text{ст}}}$$

Місцезаповнювачі видалені.

$$k_{\text{дв}} := a + b \cdot \frac{0.00079 \cdot (v - 15)}{f_{\text{ст}}}$$

Перемістити лінії введення та перед буквою «v» ввести число 0.00079. За допомогою клавіші - стрілки перемістити лінію введення та вставити дужку «(» .

$$k_{\text{дв}} := a + b \cdot \frac{0.00079 \cdot (v - 15.3)}{f_{\text{ст}}}$$

Переміститися вправо і змінити число 15 на число 15.3, ввести дужку «)» .

Іноді формула буває настільки довгою, що не поміщається по ширині сторінки. У цьому випадку частину формули можна перенести на інший рядок.

Розглянемо таку формулу:

$$x^6 + 6 \cdot x^5 \cdot y + 8 \cdot x^4 \cdot y^2 \cdot 240 \cdot x^3 \cdot y^3 + 136 \cdot x^2 \cdot y^4 + 82 \cdot x \cdot y^5 + 122 \cdot y^6$$

Процес перенесення частини формули проводиться в такій послідовності:

$$x^6 + 6 \cdot x^5 \cdot y + 18 \cdot x^4 \cdot y^2 \cdot 240 \cdot x^3 \cdot y^3 + 136 \cdot x^2 \cdot y^4 + 82 \cdot x \cdot y^5 + 122 \cdot y^6$$

Клацнути мишею праворуч від добутку.

$$x^6 + 6 \cdot x^5 \cdot y + 18 \cdot x^4 \cdot y^2 \cdot 240 \cdot x^3 \cdot y^3 + 136 \cdot x^2 \cdot y^4 + 82 \cdot x \cdot y^5 + 122 \cdot y^6$$

Натиснути клавішу «Space» сім разів.

$$x^6 + 6 \cdot x^5 \cdot y + 8 \cdot x^4 \cdot y^2 \cdot 240 \cdot x^3 \cdot y^3 \left[136 \cdot x^2 \cdot y^4 + 82 \cdot x \cdot y^5 + 122 \cdot y^6 \right]$$


Натиснути клавішу «Back Space».

$$x^6 + 6 \cdot x^5 \cdot y + 8 \cdot x^4 \cdot y^2 \cdot 240 \cdot x^3 \cdot y^3 \dots + 136 \cdot x^2 \cdot y^4 + 82 \cdot x \cdot y^5 + 122 \cdot y^6$$

Натиснути комбінацію клавіш «Ctrl + Enter».

Багато науково-технічних документів містять текст і формули. За формулами виконуються необхідні розрахунки. Текст може використовуватися у вигляді простих коментарів, а також як елемент оформлення документа для створення якісного звіту в друкарській і електронній формах.

Текстова область може розміщуватися в будь-якій частині документа Mathcad. Коли користувач встановлює курсор у місці введення і починає вводити символи, Mathcad інтерпретує їх як початок формули. Це видно по лініях введення, котрі супроводжують символи, що вводяться. Проте після натиснення клавіші «**Space**» (Пробіл) символи перетворяться на текст.

Для створення текстової області достатньо, перш ніж ввести перший символ, натиснути клавішу «**“**» . У результаті в місці курсору введення з'явиться нова текстова область, що має вигляд: .

Можна створити текстову область іншим еквівалентним способом за допомогою команди **Вставка - Область тексту** (Область тексту).

Після створення текстової області можна відразу приступати до введення тексту, причому черговий символ вставлятиметься в позицію, що позначена лінією введення.




Для зміни якої-небудь частини тексту усередині документа необхідно:

1. Клацнути мишею на області тексту. Між символами з'явиться вертикальна лінія червоного кольору.

2. За необхідності перемістити лінію введення тексту усередині текстової області до символів, котрі необхідно змінити, клацнути мишею в потрібному місці тексту або натиснути клавіші зі стрілками. Якщо натиснути клавішу «**Home**», лінія введення тексту встановиться в початок текстової області. При натисненні клавіші «**End**» лінія введення тексту встановиться в кінець текстової області.

3. Відредагувати текст.

Редагування тексту відбувається тими ж способами, що і редагування формул:

- виділення частини тексту шляхом протягання миші або натисненням клавіш зі стрілками при натиснутій клавіші «Shift»;
- вирізання, копіювання і вставлення частини тексту за допомогою кнопок «» – **Вырезать** (Вирізати), «» – **Копировать** (Копіювати), «» – **Вставить** (Вставити), що знаходяться на панелі інструментів **Стандартная** (Стандартна), меню **Редактирование** (Редагування) або контекстного меню.

Крім того, можна використовувати різні засоби форматування тексту, такі як вибір типу шрифту, його розмірів та ін.

Можна імпортувати в Mathcad фрагменти тексту з інших додатків, наприклад Microsoft Word. Для цього необхідно перейти в Microsoft Word, скопіювати потрібний фрагмент у буфер обміну, потім перейти у вікно Mathcad і вставити текст у документ.

Математичні вирази також можна вставляти в текстову область. Для вставлення математичних символів всередину тексту необхідно клацнути в потрібній частині текстової області, вибрати команду **Вставка - Область математики**, щоб створити порожнім місцезаповнювач, а потім ввести в місцезаповнювач математичний вираз.

Як правило, документ Mathcad містить багато математичних і текстових областей (регіонів). До них можна застосовувати стандартні методи редагування.

Для виділення декількох регіонів, що розташовані послідовно один за одним, необхідно натиснути ліву кнопку за межами крайнього з них і протягнути покажчик через всі регіони, котрі необхідно виділити. У результаті всі регіони, розташовані від курсору введення до покажчика миші, будуть виділені пунктирною лінією (рис. 1.8).

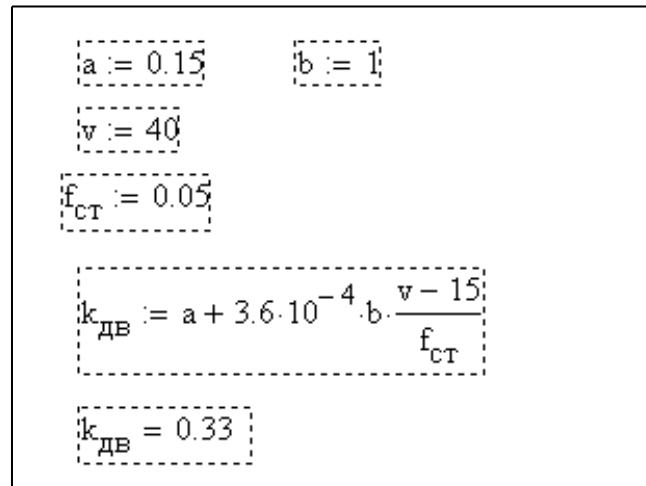


Рис. 1.8

Декілька сусідніх регіонів можна виділити, якщо клацнути на крайньому з них, натиснути клавішу «Shift» і, не відпускаючи її, клацнути на регіоні, розташованому справа, потім клацнути на якому-небудь іншому регіоні (рис. 1.9).

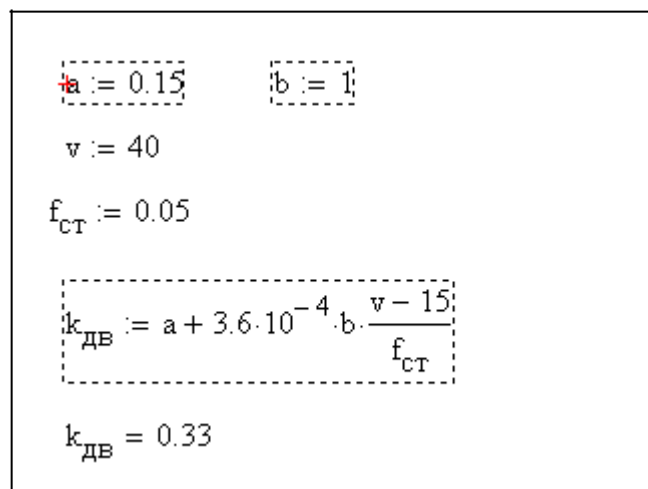


Рис. 1.9

Можна виділити декілька різних регіонів, якщо клацнути на правому з них, натиснути клавішу «Ctrl» та, не відпускаючи, послідовно клацнути на решті регіонів.

Усі математичні і текстові регіони можна виділити за допомогою команди **Редактирование** (Редагування) - **Выбор всего** (Вибір всього) або натисненням клавіш «Ctrl» + «A».

Виділення частин документа виконується такими способами:



- виділити регіон та натиснути клавішу «Del» або «Ctrl» + «D»;
- виділити регіон, вибрати команду **Редактирование** (Редагування) - **Выделить** (Виділити).



Для вирізування, копіювання виділених частин документа використовуються стандартні засоби:

- верхнє меню **Редактирование** (Редагування);
- контекстне меню;
- кнопки панелі інструментів **Стандартная** (Стандартна);
- поєднання клавіш «Ctrl» + «X», «Ctrl» + «C», «Ctrl» + «V».

Для переміщення виділених регіонів документа встановіть покажчик миші на одному з регіонів, при цьому покажчик набуде форму долоні. Потім натисніть ліву кнопку миші і перетягніть при натиснутій кнопці в бажане місце.

Як згадувалося вище, ввести математичний вираз та фрагмент тексту можна в будь-якому порожньому місці документа Mathcad. Тому окремі регіони можуть бути зміщені один відносно іншого. Документ буде краще сприйматися, якщо вирівнювати регіони по лівому краю уздовж вертикальної лінії і по верхньому краю уздовж горизонтальної лінії.

Для вирівнювання по верхній межі горизонтальної лінії спочатку потрібно виділити декілька регіонів та натиснути на панелі інструментів кнопку  – **Выравнять по верхней границе** (Вирівняти по верхній межі). Для вирівнювання по лівому краю вертикальної лінії потрібно виділити декілька регіонів і натиснути кнопку  – **Выравнять по левой границе** (Вирівняти по лівій межі).

Операції вирівнювання можна виконати, якщо скористатися командою **Формат - Выравнивание областей** (Вирівнювання областей) і натиснути кнопку  або .

У процесі роботи на поверхні документа можуть залишатися різні символи, яких насправді немає.

1.3. Обчислення

Як основні інструменти Mathcad використовує змінні та функції.

Змінна являє собою поійменованій об'єкт, якому можна привласнювати різні значення. Тип змінної в Mathcad визначається її значенням. Змінні можуть бути числовими, строковими, символними та ін.

Імена змінних, констант та інших об'єктів називаються ідентифікаторами. Як ідентифікатори можуть використовуватися букви та цифри. Довжина ідентифікатора практично не обмежується, проте пропуски в ідентифікаторах вводити не можна – Mathcad відразу перетворить ідентифікатор на звичайний текст. Ідентифікатор має починатися тільки з букви, наприклад, «z», «q12», «прог_рем», «Fond».

Елементи мови, за допомогою котрих можна створювати математичні вирази, називаються операторами. До них належать оператори арифметичних дій, оператори обчислення сум, додатків, інтегралів та ін.

Функції в Mathcad записуються в звичайному вигляді:

$f(x, \dots)$ – функція;
 f – ім'я функції;
 x, \dots – список змінних.

Для визначення функції, наприклад $f(x,y) = x^2 \cdot \sin(x) + x \cdot y$, необхідно:

1. У бажаному місці документа ввести ім'я функції «f».
2. Ввести ліву дужку «(», імена змінних через кому x, y і праву дужку «)».
3. Ввести оператор привласнення з панелі інструментів «:=».
4. Ввести в місцезаповнювач математичний вираз $x^2 \cdot \sin(x) + x \cdot y$.

Усі змінні, що входять справа в математичний вираз, мають бути наперед визначені або входити зліва в список аргументів.

Наведемо приклад.

Привласнимо всім змінним значення. Функція буде обчислена для значень всіх змінних, що входять у праву частину виразу (рис. 1.10).

$$\begin{aligned}
 s &:= 1546 & d &:= 1489 & q &:= 11 & w &:= 45 \\
 l &:= 17 & n &:= 8.5 \\
 K_1 &:= 4 & K_2 &:= 2.5 & K_3 &:= 180 & K &:= 0 \\
 E_{\hat{a}} &:= \frac{s-d}{2} + q + w + [K_2 \cdot (1-n) \cdot n + K_1 - K_3] - K \\
 E_{\hat{a}} &= 89.125
 \end{aligned}$$

Рис. 1.10

Якщо заздалегідь не визначати значення, наприклад змінною n , то вона має входити в список аргументів. У цьому випадку функція обчислюватиметься для будь-якого заданого значення аргументу n (рис. 1.11).

$$\begin{aligned}
 s &:= 1546 & d &:= 1489 & q &:= 11 & w &:= 45 \\
 l &:= 17 \\
 K_1 &:= 4 & K_2 &:= 2.5 & K_3 &:= 180 & K &:= 0 \\
 E_{\hat{a}}(n) &:= \frac{s-d}{2} + q + w + [K_2 \cdot (1-n) \cdot n + K_1 - K_3] - K \\
 E_{\hat{a}}(8.5) &= 89.125 \\
 E_{\hat{a}}(4) &= 38.5
 \end{aligned}$$

Рис. 1.11

Оператори, що застосовуються для арифметичних дій, зручно вводити з панелі **Calculator** (рис. 1.12):

- складання та віднімання: +, - ;
- множення та ділення: ·, / ;
- факторіал: ! ;
- модуль числа: |x| ;
- квадратний корінь: $\sqrt{\quad}$;
- корінь n-ї степеня ; $\sqrt[n]{\quad}$
- зведення x в степінь y: x^y ;
- зміна пріоритету: дужки ()
- чисельний висновок: := .

Приклади арифметичних операцій наведені на рис. 1.12.

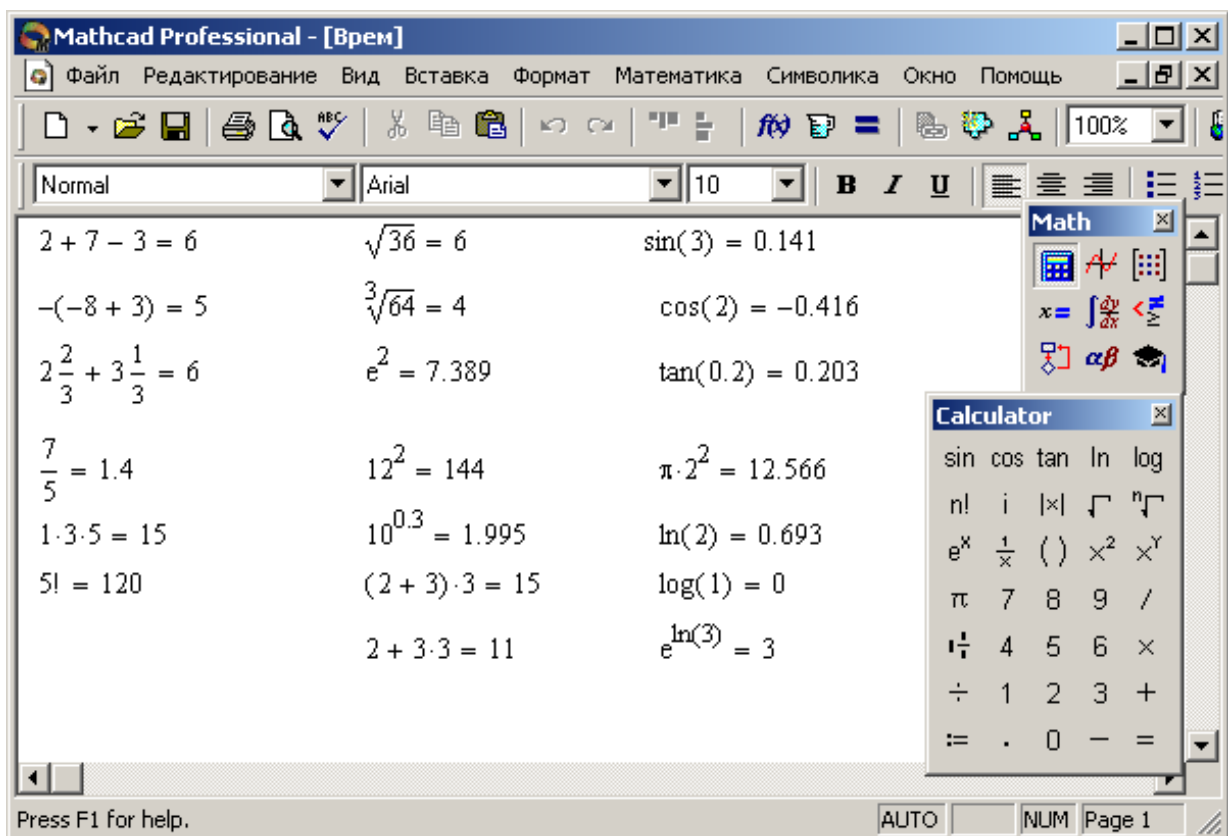


Рис. 1.12

Вставлення в документ обчислювальних операторів виконується за допомогою панелі інструментів **Calculus** (Обчислення).

Натиснення на будь-яку кнопку цієї панелі призводить до появи математичного символу відповідної операції з декількома місцезаповнювачами. Кількість і розташування місцезаповнювача залежить від типу оператора та відповідає загальноприйнятому математичному запису.

Для виведення значення в чисельній формі після введення чисельного оператора необхідно натиснути клавішу « = ».

Деякі обчислювальні оператори виводять значення тільки в символній формі. Таким оператором є оператор обчислення межі функції.

Приклади обчислювальних операторів наведені на рис. 1.13.

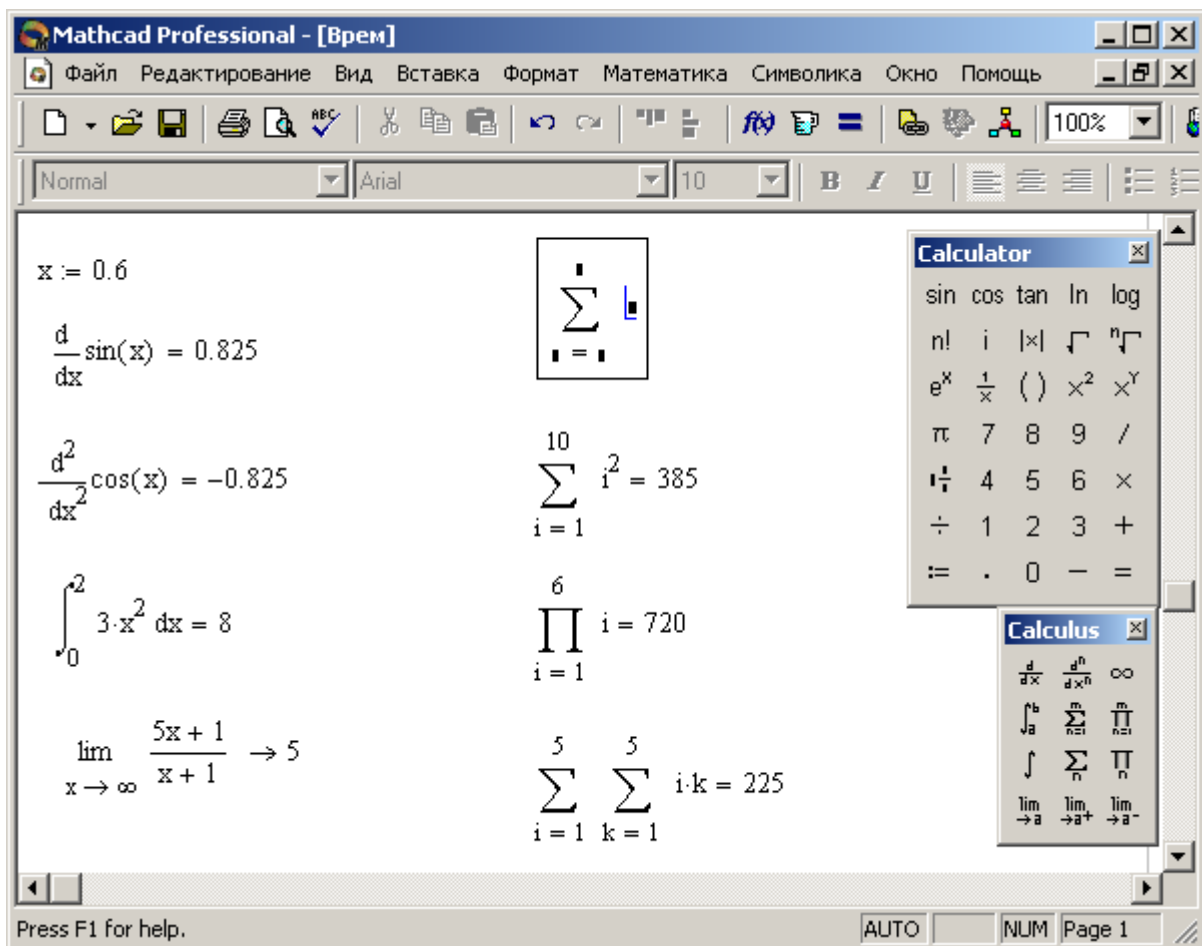


Рис. 1.13

При виконанні розрахунків часто виникає необхідність завдання ряду значень. Для завдання такого ряду в Mathcad використовуються ранжовані змінні. У найпростішому випадку для створення ранжованої змінної використовується вираз

$$S := S_{\text{нач}} \dots S_{\text{кон}},$$

де s – ім'я змінної; $S_{\text{нач}}$ – початкове значення змінної; $S_{\text{кон}}$ – кінцеве значення змінної; « \dots » – символ, що вказує на зміну змінної в заданих межах. Цей символ не можна вводити у вигляді двох крапок « \dots ». З клавіатури він вводиться знаком крапка з комою « $;$ ». Якщо $S_{\text{нач}} < S_{\text{кон}}$, то крок зміни змінної буде $+1$, інакше -1 .

У загальному випадку для створення ранжованої змінної використовується такий вираз:

$$S := S_{\text{нач}}, (S_{\text{нач}} + S_{\text{шаг}}) \dots S_{\text{кон}}.$$

Тут $S_{\text{шаг}}$ – заданий крок зміни змінної. Він може бути позитивним, якщо $S_{\text{нач}} < S_{\text{кон}}$, або негативним в іншому випадку.

Щоб створити ранжовану змінну s з елементами 0, 1, 2, 3, 4, 5, необхідно:


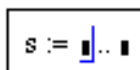
1. Клацнути лівою клавiшею миші в потрібному місці документа.
2. Ввести ім'я змінної s і оператор привласнення « $:=$ ».
3. Натиснути на кнопку  на панелі інструментів **Matrix** (Матриця), що показана на рис. 1.14, або ввести з клавіатури символ крапка з комою.



Рис. 1.14

4. На робочому аркуші з'явиться місцезаповнювач. Ввести початкове і кінцеве значення та клацнути на вільному місці документа.



5. Вибрати місце для виведення значень змінної, ввести «s=». Результат створення ранжованої змінної показаний на рис. 1.15.

Створимо ранжовану змінну p з елементами 0, 2, 4, 6, 8. Процес створення ранжованої змінної із заданим кроком мало відрізняється від того, що розглядався вище.

У цьому випадку в лівий місцезаповнювач змінної p

p :=

слід ввести початкове значення 0, кому, друге значення 2 і в правий місцезаповнювач – кінцеве значення 8.

s := 0..5

s =

0
1
2
3
4
5

Рис. 1.15

Результат показаний на рис. 1.16.

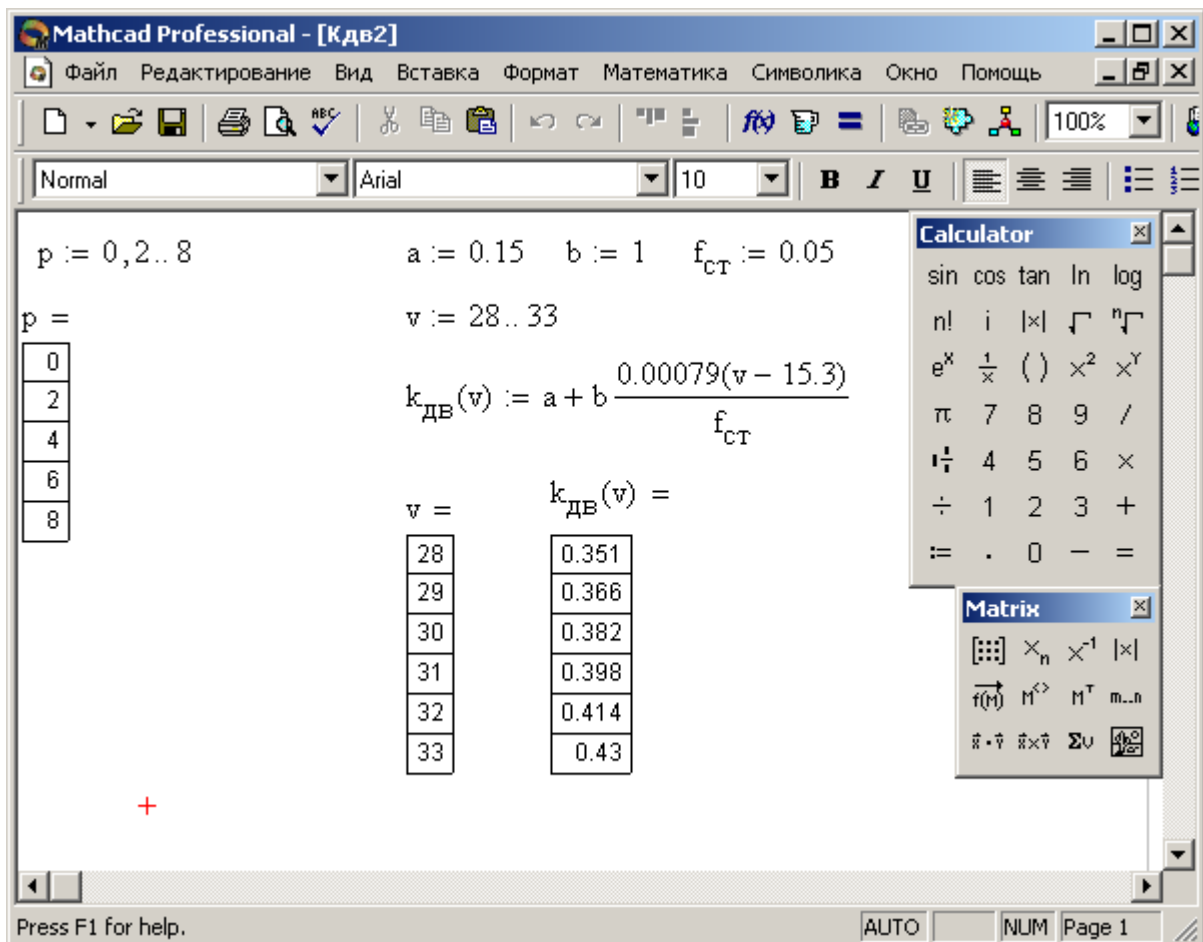


Рис. 1.16

Наведемо приклад обчислення значень функції

$$k_{\text{дв}} = a + b \cdot \frac{0.00079 \cdot (v - 15.3)}{f_{\text{ст}}}$$

для значень v , що дорівнюють 28, 29, 30, 31, 32, 33.

Привласнимо значення змінним : $a=0.015$; $b=1$; $f_{\text{ст}}=0.05$.

Створимо ранжовану змінну v з початковим значенням 28, кроком, рівним 1, та кінцевим значенням 33.

Введемо ім'я функції з аргументом, яким в даному випадку є v .

Для виведення значень змінної v та значень функції $k_{\text{дв}}(v)$ на вільному місці документа введемо « $v=$ », « $k_{\text{дв}}(v)=$ ».

Результати обчислень показані на рис. 1.16.

Установлення параметрів обчислень проводиться командою **Математика - Параметри**.

Якщо обрати команду **Математика - Параметри**, на екрані з'явиться діалогове вікно **Math Options** (Опції математики), зображене на рис. 1.17.

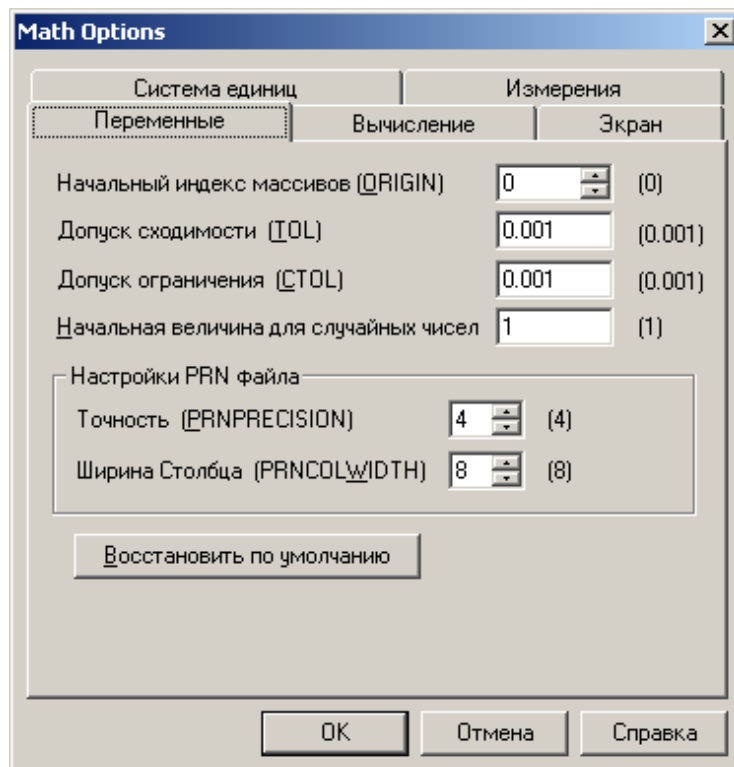


Рис. 1.17

Вікно містить такі вкладки:

1. **Переменные** (Змінні).

У Mathcad використовуються спеціальні змінні, що носять назву системних змінних. Системні змінні мають заздалегідь визначені початкові значення. Проте надалі вони можуть бути змінені шляхом привласнення їм нових значень.

До системних змінних належать:

TOL – точність чисельних методів;

STOL – точність виконання виразів, що використовується в деяких чисельних методах;

ORIGIN – нижня межа індексу масивів.

2. **Вычисление** (Обчислення).

Містить опції, що задають режим автоматичних обчислень, оптимізації виразів перед обчисленням та швидкість виконання.

3. **Система единиц** (Система одиниць).

Вибір системи одиниць (SI, MKS, CGS та ін.).

4. **Измерения** (Вимірювання).

Вибір скорочених позначень для базових одиниць вимірювання.

Для виведення результатів обчислень використовуються два основні представлення:

- десяткове, наприклад 784,5478;

- з порядком, наприклад $7,84547 \times 10^2$.

Вибір формату числових даних виконується за допомогою діалогового вікна **Формат Числа**, що викликається командою **Формат Числа** (рис. 1.18).

Основний формат (**General**) прийнятий за умовчанням.

Кількість знаків після десяткової крапки встановлюється в полі **Количество десятичных** (Кількість десяткових). За умовчанням кількість знаків після десяткової крапки дорівнює 3.

Наприклад, щоб вивести в основному форматі число 784,54782, достатньо після введення числа набрати знак рівності «=».

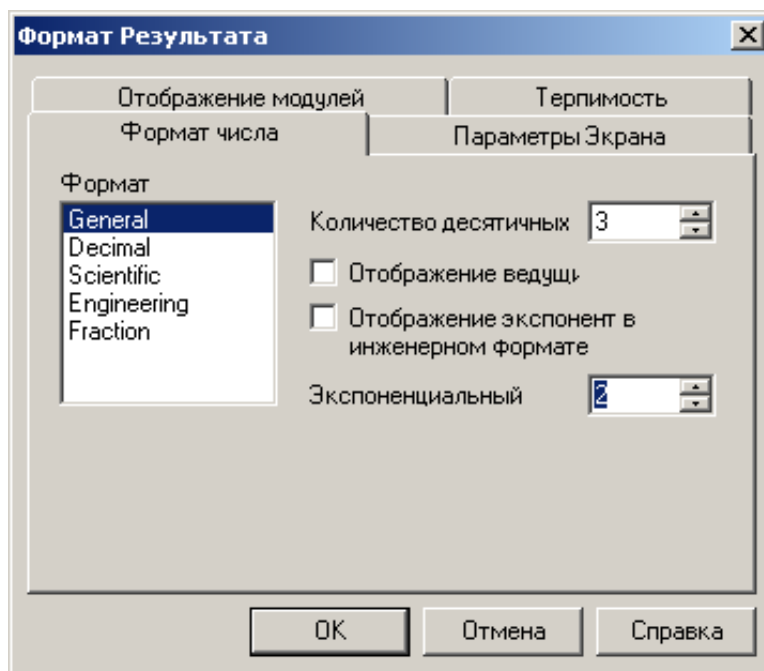


Рис. 1.18

Якщо виділити число 784,54782 та в полі **Экспоненциальный** (Експоненціальний) встановити число 2, то результатом буде число $7,845 \times 10^2$.

Для скорочення й округлення чисел (Truncation and Round-Off) в Mathcad використовуються функції:

- $\text{ceil}(x)$ – найменше ціле число, що більше або дорівнює x ;
- $\text{floor}(x)$ – найбільше число, що менше або дорівнює x ;
- $\text{trunk}(x)$ – ціла частина числа;
- $\text{round}(x, n)$ – при $n > 0$ повертає округлене значення x з точністю до n знаків після десяткової крапки, при $n < 0$ – округлене значення x з n цифрами ліворуч від десяткової крапки, при $n = 0$ – округлене до найближчого цілого значення x ;
- x – дійсний скаляр або ціле число.

Приклади:

$x := 3.5$	$n := \text{ceil}(x)$	$n = 4$	$x := 2.355$	$\text{round}(x, 1) = 2.4$
$y := 3.2$	$\text{ceil}(y) = 4$		$y := 2.1558$	$\text{round}(y, 1) = 2.2$
$z := 3.8$	$\text{ceil}(z) = 4$		$z := 2.1558$	$\text{round}(z, 3) = 2.156$
$z := -3.8$	$\text{ceil}(z) = -3$		$x := 2.1558$	$\text{round}(x, 0) = 2$
$x := 3.5$	$\text{floor}(x) = 3$		$x := 2.78$	$\text{round}(x, 0) = 3$
$y := 3.2$	$\text{floor}(y) = 3$		$x := 2.78$	$\text{round}(x, 0) = 3$
$z := 3.8$	$\text{floor}(z) = 3$		$x := -2.78$	$\text{round}(x, 0) = -3$
$z := -3.8$	$\text{floor}(z) = -4$			
$x := 3.5$	$\text{trunc}(x) = 3$			
$y := 3.2$	$\text{trunc}(y) = 3$			
$z := 3.8$	$\text{trunc}(z) = 3$			
$z := -3.8$	$\text{trunc}(z) = -3$			

1.4. Символьні обчислення

Mathcad дозволяє вирішувати багато математичних задач аналітично та одержувати точні рішення без погрешностей, що мають чисельні методи. Використовуються два варіанти символічних обчислень:

- за допомогою команд меню;
- за допомогою спеціальних ключових слів та оператора символічного виведення « \rightarrow ».

Перший варіант застосовується в тих випадках, коли необхідно отримати аналітичний результат для одноразового використання. Другий спосіб дозволяє записувати математичний вираз у традиційному вигляді та зберігати символічні обчислення в документі Mathcad.

Для символічних обчислень за допомогою команд використовується команда головного меню **Символіка** (Symbolic, Символіка) (рис. 1.19).

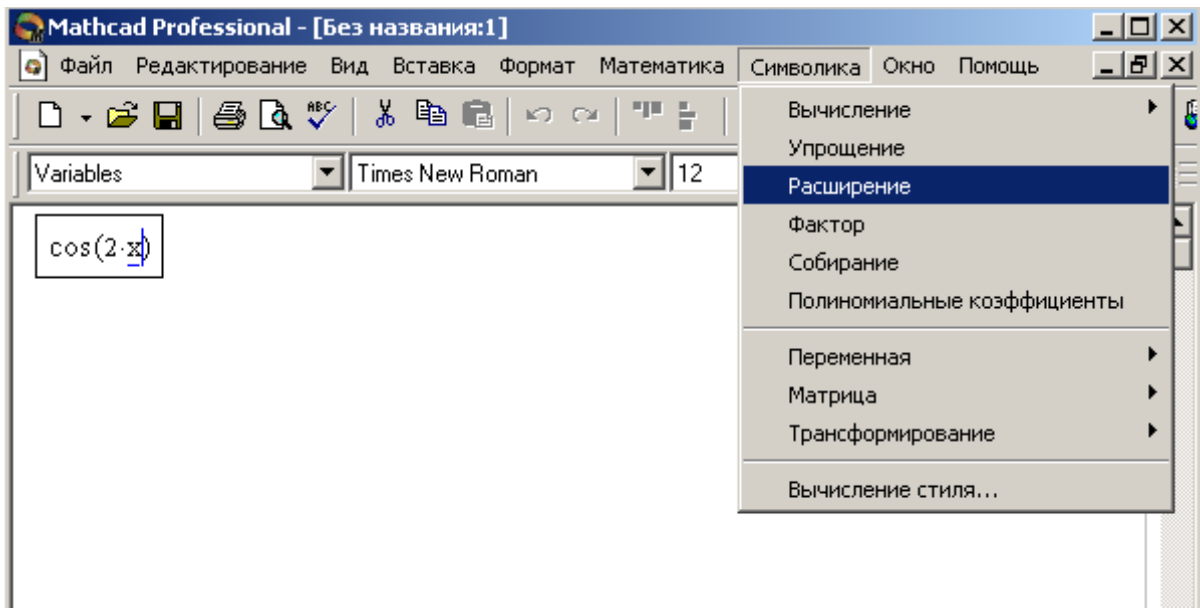


Рис. 1.19

Для виконання символічних обчислень у другому варіанті використовується спеціальна математична панель інструментів **Symbolic** (Символіка), яку можна викликати на екран натисненням кнопки **Символы** (Символи) панелі **Math** (Математика). Панель **Symbolic** (Символіка) містить кнопки, яким відповідають специфічні команди символічних перетворень (рис. 1.20).

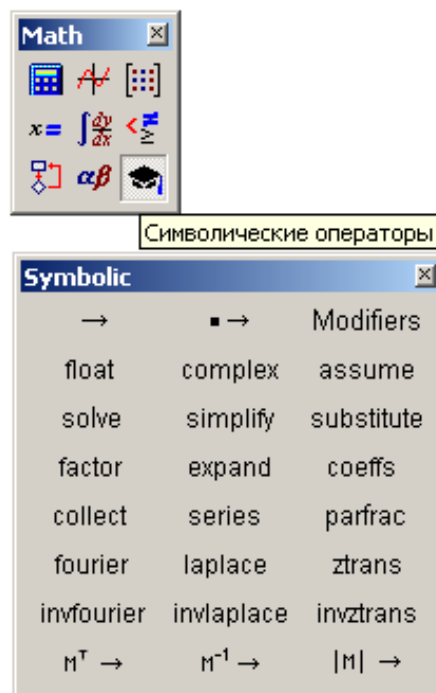
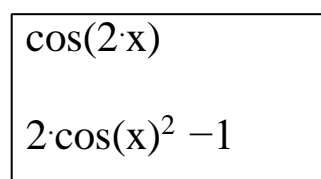


Рис. 1.20

Розглянемо обидва варіанти на прикладі розкладання на співмножники виразу $\cos(2 \cdot x)$.

1-й варіант (за допомогою команд меню).

1. Встановити курсор вводу у потрібне місце документа.
2. Набрати вираз $\cos(2 \cdot x)$.
3. Виділити повністю весь вираз.
4. Вибрати в головному меню команду

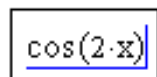


The diagram consists of two rectangular boxes. The top box contains the expression $\cos(2 \cdot x)$. The bottom box contains the expression $2 \cdot \cos(x)^2 - 1$. A vertical line connects the two boxes, indicating a transformation or result.

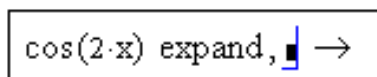
Символика (Symbolic, Символіка) – **Расширение** (Expand, Розширення) та клацнути лівою кнопкою миші. Нижче виразу з'явиться результат (рис. 1.21).

Рис. 1.21

2-й варіант (за допомогою оператора символічного виводу « \leftrightarrow »).



A rectangular box containing the expression $\cos(2 \cdot x)$.



A rectangular box containing the text $\cos(2 \cdot x)$ expand, x followed by a right-pointing arrow.

$\cos(2 \cdot x)$ expand, x $\rightarrow 2 \cdot \cos(x)^2 - 1$

1. Ввести вираз.
2. На панелі **Symbolic** (Символіка) натиснути на кнопку **expand** (рис. 1.20). У місцезаповнювачі ввести ім'я змінної «x».
3. Клацнути на вільному місці документа. Результат з'явиться на екрані.

Розглянемо основні команди, що використовуються для символічних обчислень.

Команда **Упрощение** (Simplify, Спрощення).

1-й варіант.

1. Ввести вираз.
2. Виділити.
3. Вибрати команду **Упрощение** (Simplify, Спрощення) меню **Символика** (Symbolic, Символіка) (рис. 1.22).

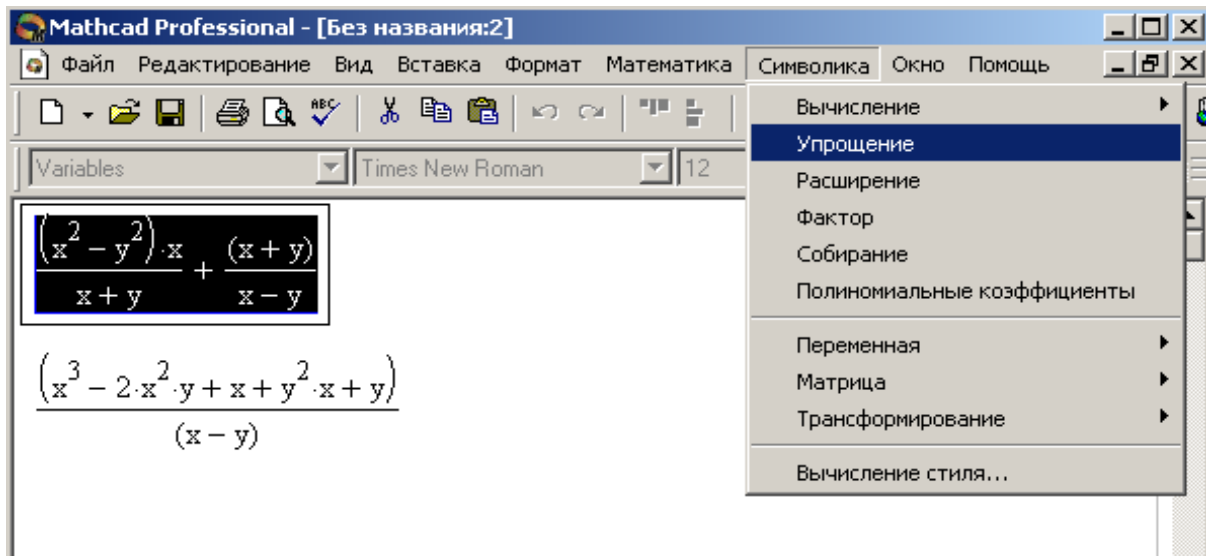


Рис. 1.22

2-й варіант.

1. Ввести вираз.
2. На панелі **Символика** (Symbolic, Символіка) натиснути на кнопку **Упрощение** (Simplify, Спрощення):

$$\frac{(x^2 - y^2) \cdot x}{x + y} + \frac{(x + y)}{x - y} \text{ simplify} \rightarrow \frac{(x^3 - 2 \cdot x^2 \cdot y + x + y^2 \cdot x + y)}{(x - y)}$$

Команда **Фактор** (Factor, Чинник) призначена для приведення подібних та розкладання на прості добутки. Операція виконується за допомогою команди **Символика** (Symbolic, Символіка) – **Фактор** (Factor, Чинник).

1-й варіант.

1. Ввести вираз.
2. Виділити.

3. Вибрати команду **Фактор** (Factor, Чинник) меню **Символика** (Symbolic, Символіка) (рис. 1.23).

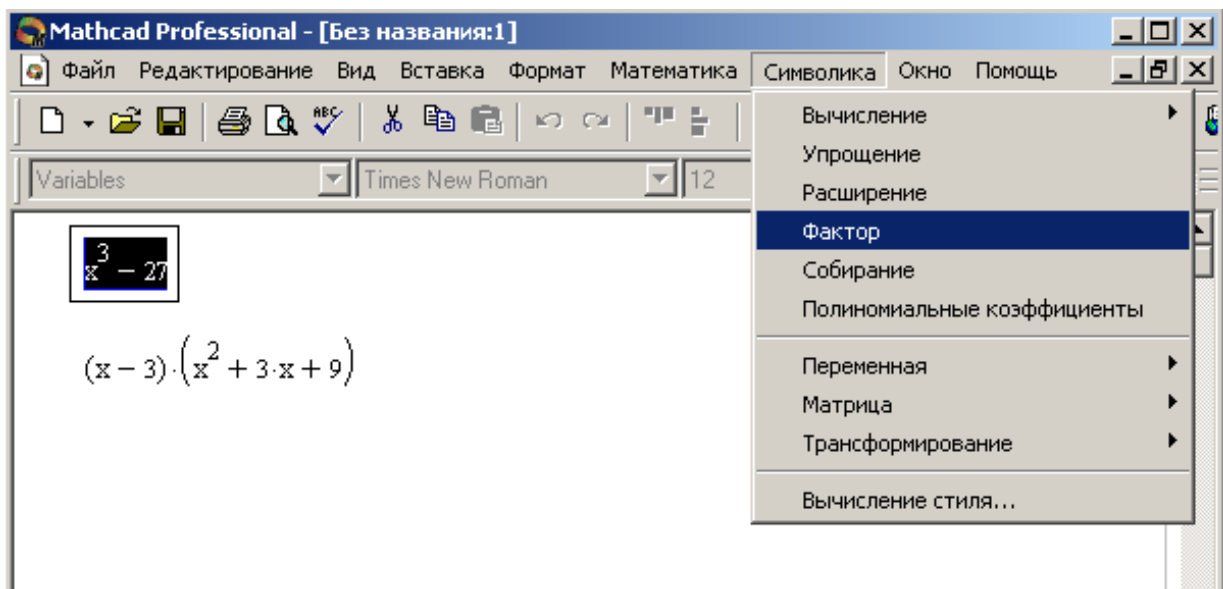


Рис. 1.23

2-й вариант.

1. Ввести вираз.
2. На панелі **Символика** (Symbolic, Символіка) натиснути на кнопку **Фактор** (Factor, Чинник).

Команда **Собирание** (Collect, Збирання).

Проводить приведення подібних додатків. Весь вираз упорядковується за однаковими степенями виділених змінних (як правило, у порядку убунання).

1-й вариант.

1. Ввести вираз.
2. Виділити ім'я змінної, відносно якої проводиться приведення подібних додатків.
3. Вибрати команду **Символика** (Symbolic, Символіка) - **Собирание** (Collect, Збирання). Результат з'явиться у рядку, розташованому нижче за вираз (рис. 1.24).

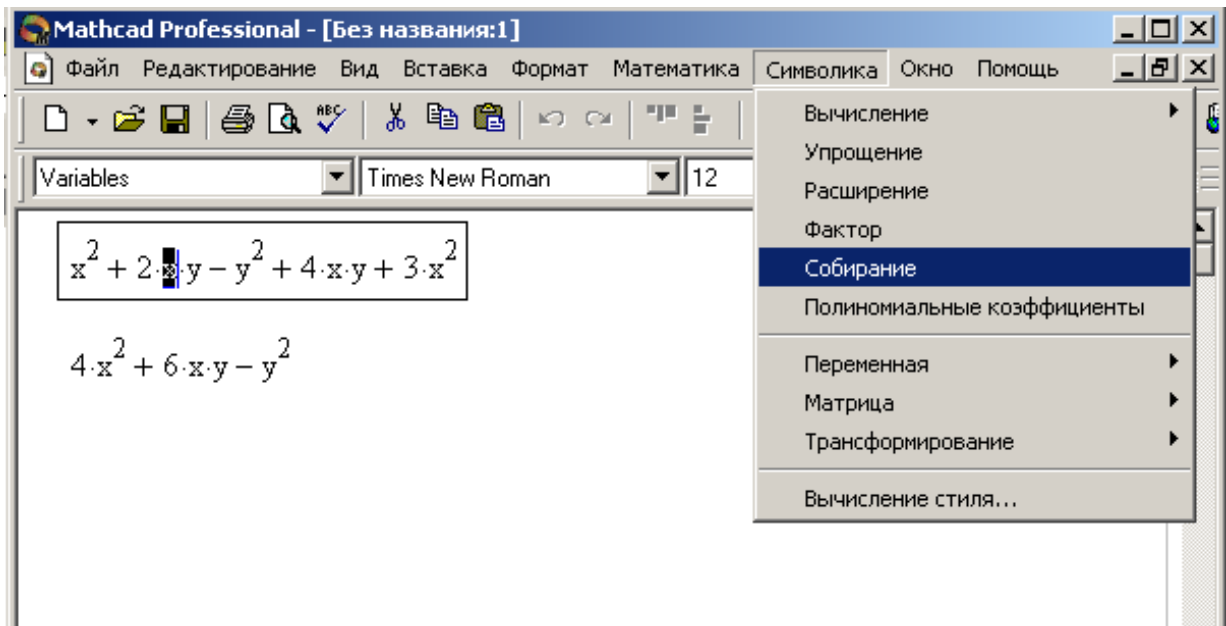


Рис. 1.24

2-й вариант.

1. Ввести вираз.
2. На панелі **Символика** (Symbolic, Символіка) натиснути на кнопку **Собирание** (Collect, Збирання).
3. У місцезаповнювач

$$x^2 + 2 \cdot x \cdot y - y^2 + 4 \cdot x \cdot y + 3 \cdot x^2 \text{ collect, } x \rightarrow$$

ввести ім'я змінної, щодо якої виконується приведення подібних додатків.

4. Натиснути клавішу «Enter».

Результат:

$$x^2 + 2 \cdot x \cdot y - y^2 + 4 \cdot x \cdot y + 3 \cdot x^2 \text{ collect, } x \rightarrow 4 \cdot x^2 + 6 \cdot x \cdot y - y^2.$$

Команда **Полиномиальные коэффициенты** (Polynomial Coefficients, Поліноміальні коефіцієнти).

Використовується для отримання коефіцієнтів полінома у вигляді вектора.

1-й варіант.

1. Ввести вираз.
2. Виділити ім'я змінної, відносно якої потрібно розрахувати поліноміальні коефіцієнти.
3. Виконати команду **Символика** (Symbolic, Символіка) - **Полиномиальные коэффициенты** (Polynomial Coefficients, Поліноміальні коефіцієнти).

Результат з'явиться під виразом у вигляді вектора, що містить коефіцієнти полінома (рис. 1.25). Перший елемент вектора - a_0 , другий - a_1 і т.д.

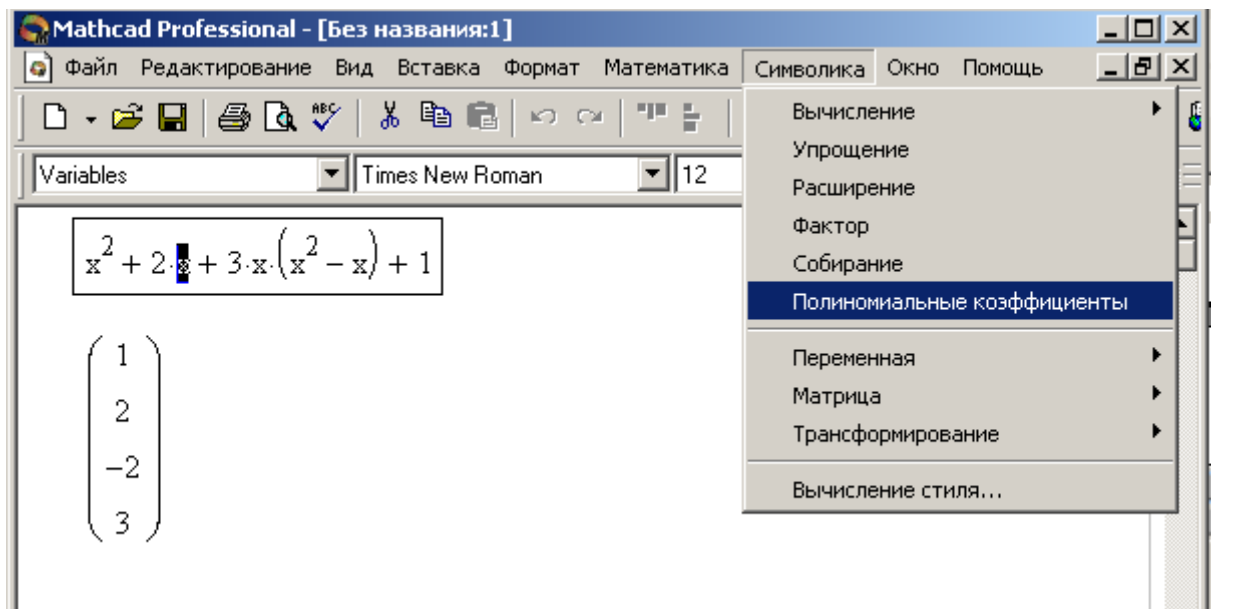


Рис. 1.25

2-й варіант.

1. Ввести вираз.
2. На панелі **Символика** (Symbolic, Символіка) натиснути на кнопку **Coeffs** (Коефіцієнти полінома).
3. У місце заповнювач

$$x^2 + 2x + 3x(x^2 - x) + 1 \text{ coeffs, } \rightarrow$$

ввести ім'я змінної, відносно якої обчислюються коефіцієнти полінома.

4. Натиснути клавішу «Enter».

Результат:

$$x^2 + 2 \cdot x + 3 \cdot x \cdot (x^2 - x) + 1 \text{ coeffs, } x \rightarrow$$

Команда **Замена** (Substitute, Заміна) підменю **Переменная** (Variable, Змінна).

Призначена для заміни змінної (тут A_1), яка зберігається в буфері обміну, виразом (тут $\frac{-v^2 h}{v^2 - \omega^2}$).

1-й варіант.

1. Ввести вираз

$$A_1 = \frac{-v^2 \cdot h}{v^2 - \omega^2}$$

2. Скопіювати праву частину виразу в буфер обміну.

3. Ввести вираз

$$\frac{v^2 \cdot h}{v^2 - \omega^2} \cdot \cos(\omega \cdot t) + A_1 \cdot \cos(v \cdot t)$$

у якому необхідно замінити A_1 на $-v^2 h / (v^2 - \omega^2)$.

4. Виділити у виразі ім'я змінної A_1 :

$$\frac{v^2 \cdot h}{v^2 - \omega^2} \cdot \cos(\omega \cdot t) + \mathbf{A_1} \cdot \cos(v \cdot t)$$

5. Виконати команду **Символика** (Symbolic, Символіка) – **Переменная – Замена** (Variable, Змінна). – (Substitute, Заміна)
Результат зображений на рис. 1.26.

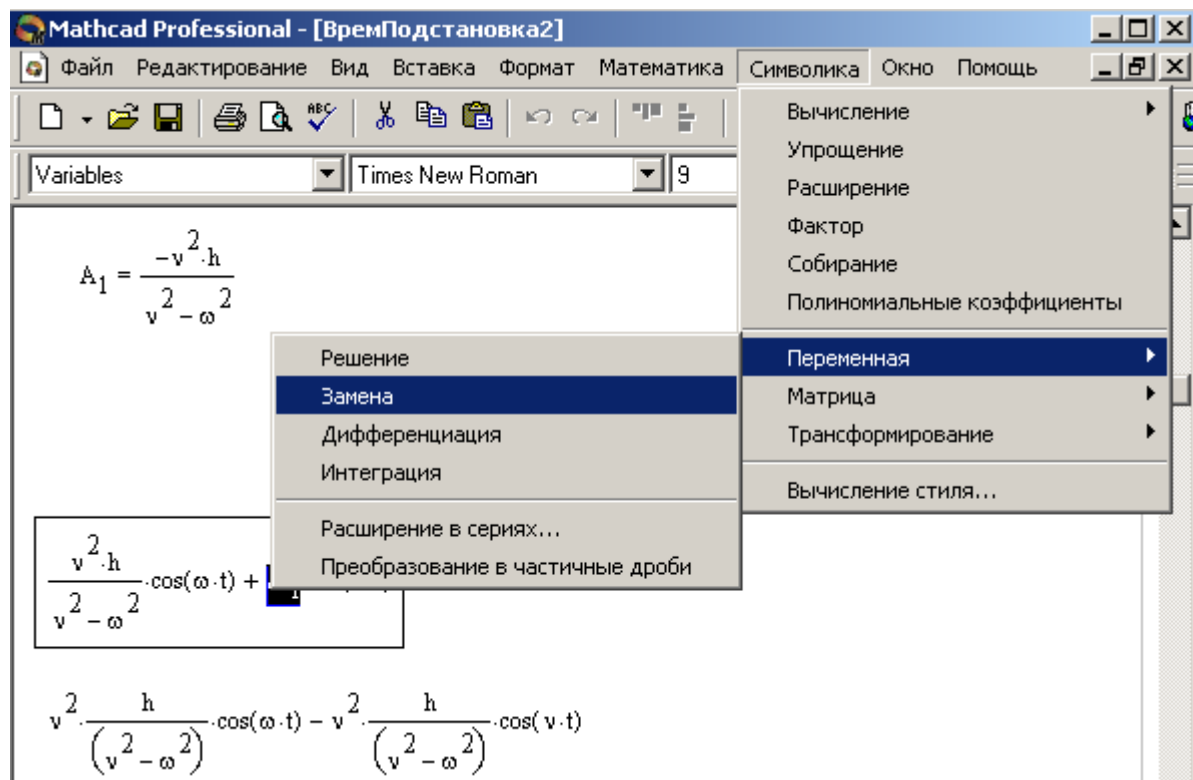


Рис. 1.26

2-й вариант.

1. Ввести вираз.
2. На панелі **Symbolic** (Символіка) натиснути на кнопку **Substitute** (Заміна).
3. У місцезаповнювачі

$$\frac{v^2 \cdot h}{v^2 - \omega^2} \cdot \cos(\omega \cdot t) + A_1 \cdot \cos(v \cdot t) \text{ substitute, } \blacksquare = \blacksquare \rightarrow$$

ввести праву та ліву частини виразу:

$$\frac{v^2 \cdot h}{v^2 - \omega^2} \cdot \cos(\omega \cdot t) + A_1 \cdot \cos(v \cdot t) \text{ substitute, } A_1 = \frac{-v^2 \cdot h}{v^2 - \omega^2} \rightarrow$$

4. Натиснути клавішу «Enter».
Нижче показаний результат:

$$\frac{v^2 \cdot h}{v^2 - \omega^2} \cdot \cos(\omega \cdot t) + A_1 \cdot \cos(v \cdot t) \text{ substitute, } A_1 = \frac{-v^2 \cdot h}{v^2 - \omega^2} \rightarrow$$

Команда **Решение** (Solve, Рішення) підменю **Переменная** (Змінна, Variable) дозволяє отримати символічне рішення рівняння відносно виділеної змінної. При цьому введення знаку рівності здійснюється натисненням кнопки «**=**» (Булева рівність) на панелі інструментів **Булевые операторы** (Boolean, Булеві оператори) або за допомогою комбінації клавіш «Ctrl»+«+». Майже у всіх випадках Mathcad знаходить рішення квадратного рівняння, експоненціального рівняння, тригонометричного рівняння, рівняння в радикалах.

1-й варіант.

1. Ввести вираз.
2. Виділити змінну, відносно якої буде розв'язуватися рівняння.
3. Виконати команду **Символика - Переменная - Решение** (Symbolics - Variable – Solve, Символіка - Змінна - Рішення) (рис. 1.27).

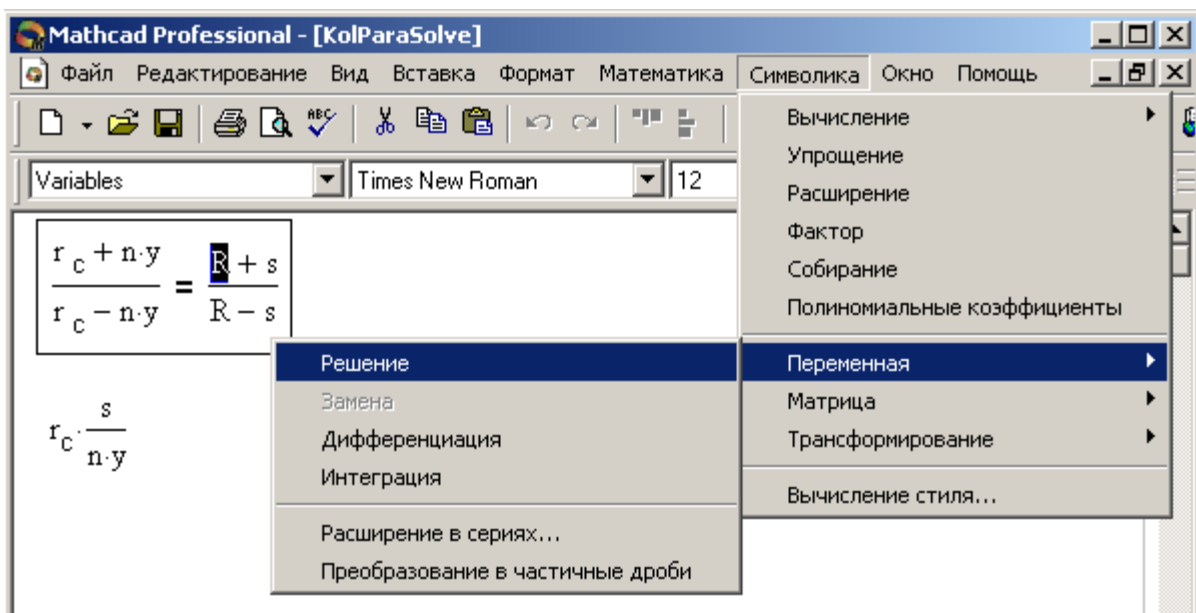


Рис. 1.27

2-й варіант.

1. Ввести вираз.
 2. На панелі **Символика** (Symbolic, Символіка) натиснути на кнопку **Решение** (Solve, Рішення).
 3. У місцезаповнювач ввести ім'я змінної, відносно якої розв'язується рівняння.
 4. Натиснути клавішу «Enter».
- Результат:

$$\frac{r_c + n \cdot y}{r_c - n \cdot y} = \frac{R + s}{R - s} \text{ solve, } R \rightarrow$$

Команда **Дифференциация** (Differentiate, Диференціяція) підменю **Переменная** (Variable, Змінна).
Дозволяє в символній формі обчислювати похідну.

1-й варіант.

1. Ввести вираз.
 2. Виділити ім'я змінної, відносно якої потрібно виконати диференціювання.
 3. Виконати команду **Символика - Переменная - Дифференциация** (Symbolics - Variable - Differentiate, Символіка - Змінна - Диференціяція).
 4. Натиснути клавішу «Enter».
- Результат показаний на рис. 1.29.

2-й варіант.

Для виконання операцій диференціювання, інтеграції та ін. зручно користуватися панелью інструментів **Calculus** (Обчислення) (рис. 1.28).

1. На панелі інструментів **Calculus** (Обчислення) клацнути по кнопці « $\frac{d}{dx}$ » (Похідна).

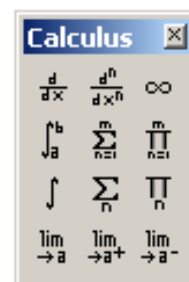


Рис. 1.28

2. У місцезаповнювач ввести функцію та змінну, за якою береться похідна.

3. На панелі інструментів **Symbolic** (Символіка) або на панелі **Evaluation** (Оцінювання) натиснути на кнопку « \rightarrow » (Символьний знак рівності).

4. Натиснути клавішу «Enter».

Результат:

$$\frac{d}{dx} (x^2 + 2 \cdot x + 3) \rightarrow$$

Можна привласнити функції ім'я

$$f(x) := x^2 + 2 \cdot x + 3;$$

$$\frac{d}{dx} f(x) \rightarrow$$

Так само виконується символічне обчислення похідної n-го порядку.

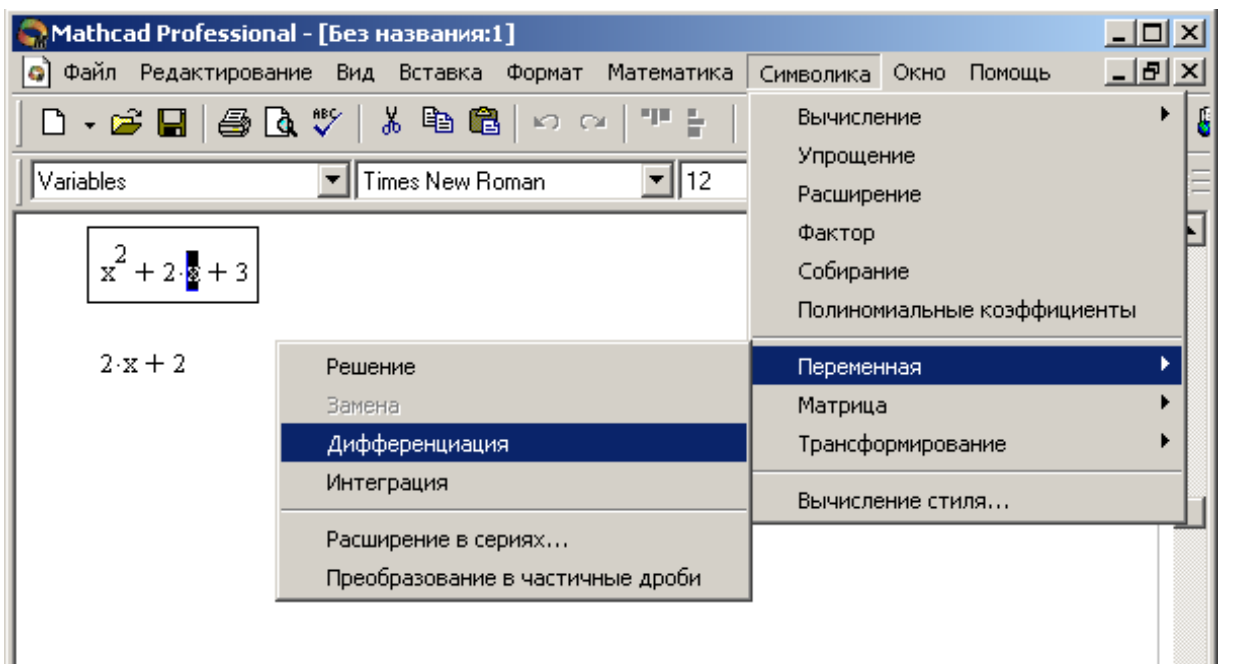


Рис. 1.29

Команда **Інтеграція** (Integrate, Інтеграція) підменю **Переменная** (Variable, Змінна).

Дозволяє знаходити невизначений інтеграл відносно виділеної змінної. Первісна, що виходить у результаті застосування цієї команди, відображається без довільної постійної.

Щоб обчислити невизначений інтеграл від деякого виразу за певною змінною, необхідно ввести вираз та виділити в ньому змінну «x». Потім виконати команду **Символіка - Переменная - Інтеграція** (Symbolics - Variable - Integrate, Символіка - Змінна - Інтеграція).

Нижче виразу з'явиться результат (рис. 1.30).

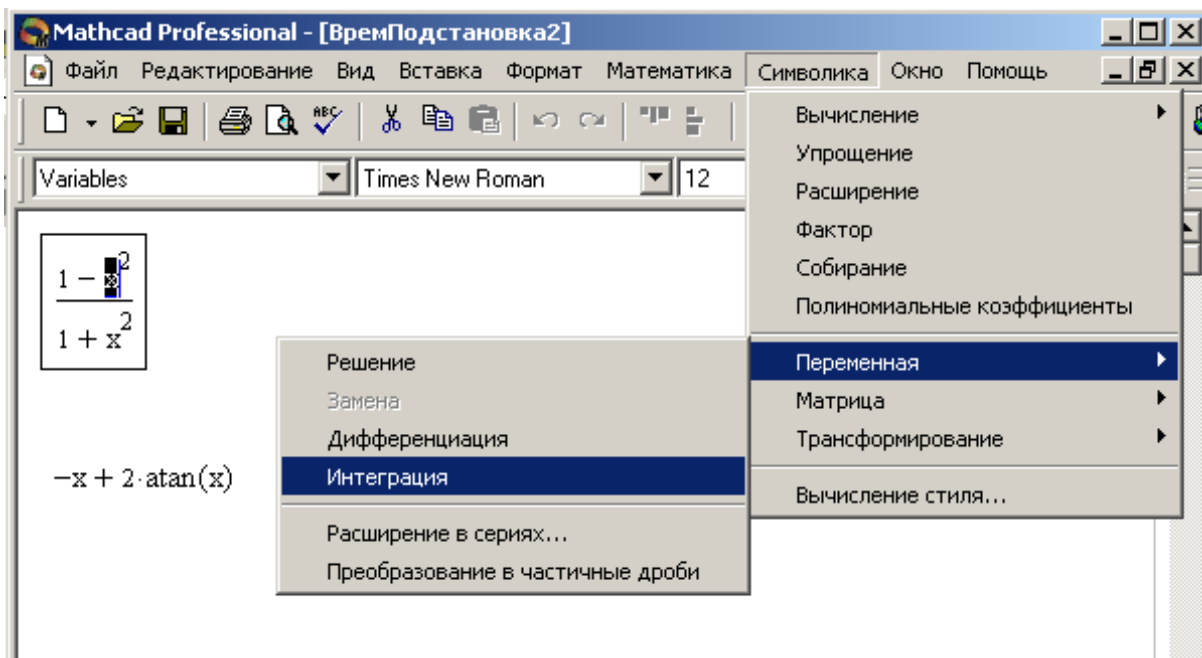


Рис 1.30

Другий варіант полягає у використанні символічного знаку рівності « \rightarrow ».

1. На панелі інструментів **Calculus** (Обчислення) клацнути по кнопці « \int » (Невизначений інтеграл) або натиснути клавіші «Ctrl» + «I».

2. У місцезаповнювачі ввести вираз та ім'я змінної, за якою виконуватиметься інтеграція.

3. На панелі інструментів Symbolic або на панелі Evaluation натиснути на кнопку « \rightarrow » (Символьний знак рівності).

4. Натиснути клавішу «Enter».

У результаті буде обчислений в символьному вигляді невизначений інтеграл:

$$\int \frac{1-x^2}{1+x^2} dx \rightarrow$$

Щоб обчислити визначений інтеграл, необхідно:

1. На панелі інструментів **Calculus** (Обчислення) клацнути по кнопці « \int_a^b » (Визначений інтеграл) або натиснути клавіші «Shift» + «&».

2. У місцезаповнювач ввести вираз, ім'я змінної, за якою виконується інтеграція, нижня та верхня межі інтеграції.

3. На панелі інструментів Symbolic або на панелі Evaluation натиснути на кнопку « \rightarrow » (Символьний знак рівності).

4. Натиснути клавішу «Enter» або клацнути на вільному місці документа.

Результат обчислення визначеного інтеграла:

$$\int_{-r}^r \pi \cdot (r^2 - x^2) dx \rightarrow \rightarrow$$

Щоб одержати чисельне значення визначеного інтеграла, необхідно привласнити значення змінним та постійним:

$$r := 2 \quad ; \quad \pi := 3.14;$$

$$\int_{-r}^r \pi \cdot (r^2 - x^2) dx \rightarrow$$

Для обчислення у символьному або числовому вигляді сум або добутоків необхідно:

1. Ввести вираз за допомогою панелі інструментів **Calculus** (Обчислення) (рис. 1.28) для вставлення відповідних символів підсумовування або помноження.

2. За допомогою оператора символічного висновку « \rightarrow » або знака « \Rightarrow » отримати результат.

Приклади обчислення сум та добутків:

$$\sum_{x=0}^{10} 2^x = 2.047 \times 10^3$$

$$\prod_{x=1}^5 \frac{1}{x+2} \rightarrow \frac{1}{2520} = 3.968 \times 10^{-4}$$

$$\sum_{i=0}^{\infty} \frac{a^i}{a+1} \rightarrow \frac{-1}{(a+1) \cdot (a-1)}$$

$$\prod_{n=1}^{\infty} \sqrt{n} \rightarrow \infty$$

$$\sum_{n=1}^{10} \frac{1}{n+1} = 2.02$$

$$\prod_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3+1} \rightarrow 0$$

1.5. Програмування

Можливості Mathcad розширюються з використанням засобів програмування.

Як основні інструменти в Mathcad використовуються математичні вирази, змінні та функції. Іноді формули можуть бути настільки складними, що записати їх в один рядок не вдається. Програмний модуль дозволяє записати таку формулу в декілька рядків.

Вставлення в документ Mathcad програмного коду здійснюється за допомогою панелі інструментів **Programming** (Програмування), яку можна викликати на екран, якщо на панелі **Math** (Математика) натиснути кнопку **Инструменты программирования** (Programming Toolbar, Інструменти програмування) (рис. 1.31).

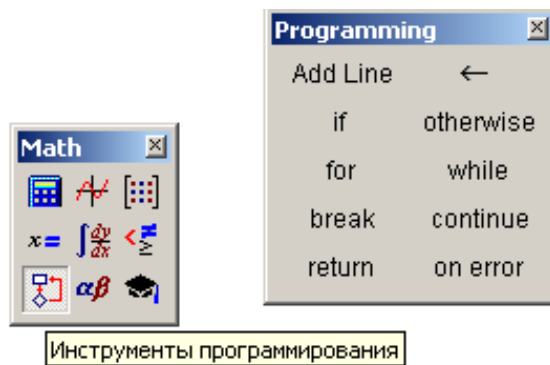


Рис. 1.31

Для створення програмного модуля необхідно:

1. Ввести ім'я функції або змінної.
2. Ввести знак привласнення «:=».
3. На панелі інструментів **Programming** (Програмування) клацнути на кнопці **Add Line** (Додати рядок програми). При повторному натисненні кнопки **Add Line** буде доданий рядок (рис. 1.32).

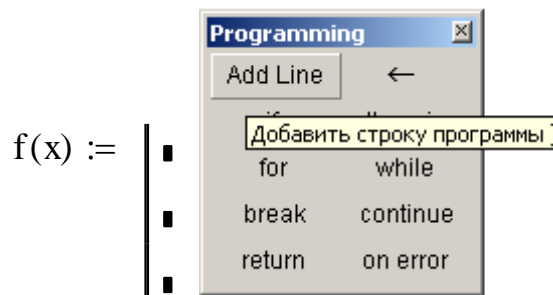


Рис. 1.32

4. У місцезаповнювачі ввести програмний код. Введення оператора « **if** » виконується натисненням кнопки « **if** » (Оператор **if**) на панелі інструментів **Programming** (Програмування), а символи логічних операцій «>», «<», «=» вводяться за допомогою відповідних кнопок панелі інструментів **Boolean** (, Булеві оператори).

У результаті програмний модуль набуває такого вигляду:

$$f(x) := \begin{cases} \left(\frac{2}{x}\right) & \text{if } x > 0 \\ (2 \cdot x) & \text{if } x < 0 \\ 2 & \text{if } x = 0 \end{cases}$$

Тепер він може використовуватися звичайним способом як у символічних, так і в чисельних розрахунках. Наприклад, $f(4) = 0.5$; $f(C4) = C8$; $f(0) = 2$.

Можна вставити рядок програмного коду в програму, що вже створена. Для цього треба помістити на потрібне місце усередині програмного модуля лінію введення (рис. 1.33) та натиснути на кнопку **Add Line** (Додати рядок програми). З'явиться нова лінія з місцезаповнювачами, з яких перший вже буде заповнений (рис. 1.34).

$$f(x) := \begin{cases} \left(\frac{2}{x}\right) & \text{if } x > 0 \\ (2 \cdot x) & \text{if } x < 0 \\ 2 & \text{if } x = 0 \end{cases}$$

Рис. 1.33

$$f(x) := \begin{cases} \left(\frac{2}{x}\right) & \text{if } x > 0 \\ & \text{if } x < 0 \\ & | 2 \cdot x \\ 2 & \text{if } x = 0 \end{cases}$$

Рис. 1.34

У другий місцезаповнювач введемо текст: «error: x < -1000». Програмний модуль набуде такого вигляду:

$$f(x) := \begin{cases} \left(\frac{2}{x}\right) & \text{if } x > 0 \\ & \text{if } x < 0 \\ & | (2 \cdot x) \\ & | "error:x<-1000" & \text{if } x < -1000 \\ 2 & \text{if } x = 0 \end{cases}$$

Наведемо приклади обчислення функції $f(x)$ для різних значень x :

$$\begin{aligned} f(4) &= 0.5 ; & f(0) &= 2 ; \\ f(-4) &= -8 ; & f(-2000) &= \text{"error:x<-1000"} . \end{aligned}$$

У програмному модулі використовуються локальні змінні. Локальна змінна – це змінна, що діє тільки в межах програмного модуля. Привласнення значення локальній змінній проводиться за допомогою оператора **Local Definition** (Локальне привласнення), який вставляється натисненням кнопки «←» (Локальне привласнення) на панелі інструментів **Programming** (Програмування).

Нижче наведений приклад локального привласнення. Змінна q існує тільки усередині програми, що виділена вертикальною межею. Значення змінної q неможливо одержати з іншого місця документа. За межами програми значення змінної може бути не визначено або дорівнювати значенню, котре задається оператором локального «:=» та глобального «≡» привласнення поза програмного блока.

$$\begin{aligned} y &:= 3 \\ f(x) &:= \left| \begin{array}{l} q \leftarrow 5 \\ q + x + y \end{array} \right. \\ q &:= 12 \\ f(1) &= 9 \end{aligned}$$

Оператор **if** є оператором для створення умовних виразів. Він записується у вигляді:

«Вираз **if** Умова».

Спочатку перевіряється логічний вираз (Умова). Якщо умова істинна, тобто Умова виконується, то виконується Вираз, тобто математичний вираз зліва від оператора **if**. Якщо Умова

не виконується, то нічого не відбувається, а виконання програми продовжується шляхом переходу до наступного рядка.

Оператор **otherwise** (інакше) звичайно використовується спільно з оператором **if**. Він вказує на вираз, що буде виконуватися, якщо жодна з умов не буде істинною.

У наступній програмі показаний приклад використання оператора **otherwise**.

$$f(x) := \begin{cases} \left(\frac{2}{x}\right) & \text{if } x > 0 \\ \text{if } x < 0 & \\ \quad \begin{cases} (2 \cdot x) \\ \text{"error:x<-1000"} & \text{if } x < -1000 \end{cases} \\ 2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Оператор **for** служить для організації циклу із заданим числом повторень. Він записується у вигляді

for Var ∈ Nmin .. Nmax,


де Var – ім'я змінної;

Nmin, Nmax – найменше та найбільше значення змінної.

Цей запис означає, що якщо змінна Var змінюється з кроком 1 від Nmin до Nmax, то вираз в нижньому місцезаповнювачі буде виконуватися.

Для організації циклу з використанням оператора **for** необхідно:

1. У програмному модулі створити нову лінію за допомогою оператора **Add Line**.

2. Вставити оператора **for** натисненням кнопки «  » (Цикл **For**) на панелі **Programming** (Програмування).

3. Вставити у місцезаповнювач ім'я змінної та її значення.

4. У нижній місцезаповнювач ввести вираз, що повинен виконуватися циклічно (рис. 1.35).

5. За необхідності ввести решту операторів.

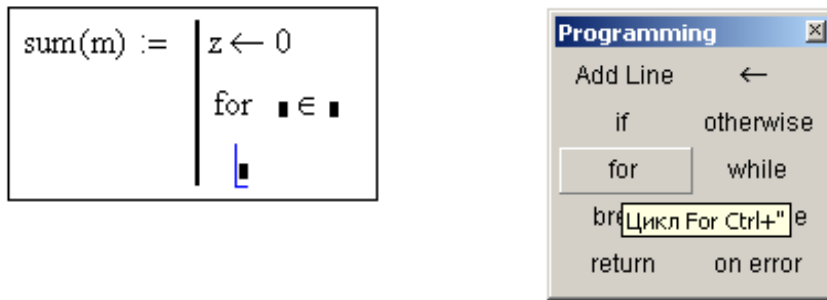


Рис. 1.35

Програмний модуль набуватиме такого вигляду:

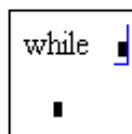
$$\text{sum}(m) := \begin{array}{|l} z \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..m \\ z \leftarrow z + i \end{array}$$

$\text{sum}(3) = 6$

Оператор **while** (поки) використовується для організації циклу, який діє доти, поки виконується деяка умова. Він записується у вигляді

«**while** Умова».

Натиснення на кнопку «**while**» (Цикл **While**) призводить до появи шаблону:



У місцезаповнювач зверху вводиться логічна (булева) умова. У місцезаповнювачі внизу – оператори циклу. Перевірка істинності логічного виразу виконується перед виконанням наступної ітерації:

$$f := \begin{array}{|l} z \leftarrow 0 \\ \text{while } z < 15 \\ z \leftarrow z + 1 \end{array}$$

$f = 15$

Оператор **break** призводить до переривання роботи програми кожного разу, коли він зустрічається. Найчастіше він використовується спільно з операторами умовного виразу **if** та операторами циклу **for** і **while**.

Приклад оператора **break** усередині циклу **for**:

$$f(z) := \left| \begin{array}{l} z \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..10 \\ \quad \left| \begin{array}{l} z \leftarrow z + i \\ \text{break if } i = 3 \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$f(5) = 6$

Приклад оператора **break** всередині циклу **while**:

$$f(z) := \left| \begin{array}{l} z \leftarrow 0 \\ \text{while } z < 10 \\ \quad \left| \begin{array}{l} z \leftarrow z + 1 \\ \text{break if } z > 8 \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$f(5) = 9$.

Оператор **continue** (продовжити) використовується для продовження обчислень після переривання програми. Звичайно він використовується спільно з операторами **for** і **while**.

Приклад:

$$f(z) := \left| \begin{array}{l} z \leftarrow 0 \\ \text{while } z < 10 \\ \quad \left| \begin{array}{l} z \leftarrow z + 1 \\ \text{continue} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$f(2) = 10$.

Оператор **return** перериває виконання програми та повертає значення останнього обчисленого оператора. Разом з тим оператор допускає перевірку виконання програми (наприклад, за

допомогою умовного оператора) та видає деяке значення. Щоб підкреслити повернення програмним модулем певного значення, ім'я змінної вказують в останньому рядку програмного модуля.

Приклад застосування оператора **return**:

$$k_{\hat{a}}(v) := \left| \begin{array}{l} a \leftarrow 0.1 \\ b \leftarrow 1 \\ f_{\hat{n}} \leftarrow 0.05 \\ y \leftarrow a + b \cdot \frac{0.00079 \cdot (v - 15.3)}{f_{\hat{n}}} \\ (\text{return "error"}) \text{ if } v < 28 \\ (\text{return "error"}) \text{ if } v > 33 \\ y \end{array} \right.$$

$$k_{\hat{a}}(30) = 0.332$$

$$k_{\hat{a}}(15) = \text{"error"}$$

$$k_{\hat{a}}(40) = \text{"error"}$$

Оператор **on error** дозволяє обробляти помилки користувача.

Можна наперед припустити, що в будь-якому місці програми може виникнути помилка (наприклад, ділення на нуль). Таку помилку можна перехопити за допомогою оператора **on error**.

Для вставлення оператора **on error** необхідно у потрібному рядку програми встановити лінію введення та клацнути на кнопці «**on error**» (Оператор переходу при виникненні помилки) на панелі **Programming** (Програмування). У результаті з'явиться рядок з двома місцезаповнювачами (рис. 1.36).

```
C(v,R) := | ■ on error |
           | ■
```

Рис. 1.36

У лівий місцезаповнювач вводиться вираз, що виконується при виникненні помилки. У правий місцезаповнювач вводиться вираз, що повинен виконуватися в даному рядку програми.

Приведемо приклад обробки помилок.

Розробити програму обчислення функції $C=C(v,R)$.

Обчислити значення функції $C=C(v, R)$ можна за допомогою такої програми:

$$C(v,R) := \begin{cases} P_{br} \leftarrow 750 \cdot 10^3 \\ g \leftarrow 9.8 \\ \frac{P_{br} \cdot v^2}{g \cdot R} \end{cases}$$

$$C(20, 600) = 5.102 \times 10^4$$

$$C(20, -600) = -5.102 \times 10^4$$

```
C(20, 0) = ■ ■
```

Found a singularity while evaluating this expression. You may be dividing by zero.

Ця програма працюватиме та обчислюватиме значення функції $C=C(v, R)$ при різних значеннях аргументів v і R . Проте якщо задати значення $R=0$, програма зупиниться та з'являється повідомлення про помилку: «Found a singularity while evaluating this expression. You may be dividing by zero» (Знайдена сингулярність при обчисленні цього виразу. Можливо, ви ділите на нуль). При цьому текст виразу буде забарвлений червоним кольором.

Внесемо зміни в останній рядок програми: якщо відбувається ділення на нуль, то видається повідомлення про помилку та програма продовжує роботу.

Текст програми тепер має такий вигляд:

$$C(v,R) := \left\{ \begin{array}{l} P_{br} \leftarrow 750 \cdot 10^3 \\ g \leftarrow 9.8 \\ \text{"error: R=0 " on error } \frac{P_{br} \cdot v^2}{g \cdot R} \end{array} \right.$$

$$C(20,600) = 5.102 \times 10^4$$

$$C(20,-600) = -5.102 \times 10^4$$

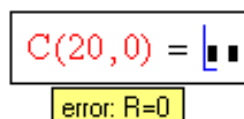
$$C(20,0) = \text{"error: R=0 "}$$

Можна ще більше удосконалити програму, якщо разом з оператором **on error** використовувати стандартну функцію **error**. У цьому випадку текст програми набуде такого вигляду:

$$C(v,R) := \left\{ \begin{array}{l} P_{br} \leftarrow 750 \cdot 10^3 \\ g \leftarrow 9.8 \\ \text{error("error: R=0 ") on error } \frac{P_{br} \cdot v^2}{g \cdot R} \end{array} \right.$$

$$C(20,600) = 5.102 \times 10^4$$

$$C(20,-600) = -5.102 \times 10^4$$



The image shows a screenshot of a code editor. A red text box contains the expression `C(20,0) =` followed by a cursor and a small error icon. Below it, a yellow tooltip displays the text `error: R=0`.

Зверніть увагу, що тепер при виникненні помилки видається повідомлення розробників програми.

1.6. Графіки

У Mathcad вбудована система побудови графіків, котра дозволяє створювати графіки декількох типів:

- декартовий графік (XY-Plot);
- полярний графік (Polar Plot);
- графік тривимірної поверхні (Surface Plot);
- графік ліній рівня (Contour Plot);
- тривимірна гістограма (3D Bar Plot);
- тривимірна безліч точок (3D - Scatter Plot);
- векторне поле (Vector Field Plot).

Створити графік можна за допомогою команд меню або за допомогою панелі інструментів **Graph** (Графік).

Щоб створити графік, необхідно в головному меню вибрати команду **Вставка - Графік** (Вставка - Графік), а потім вибрати тип графіка (рис. 1.37).

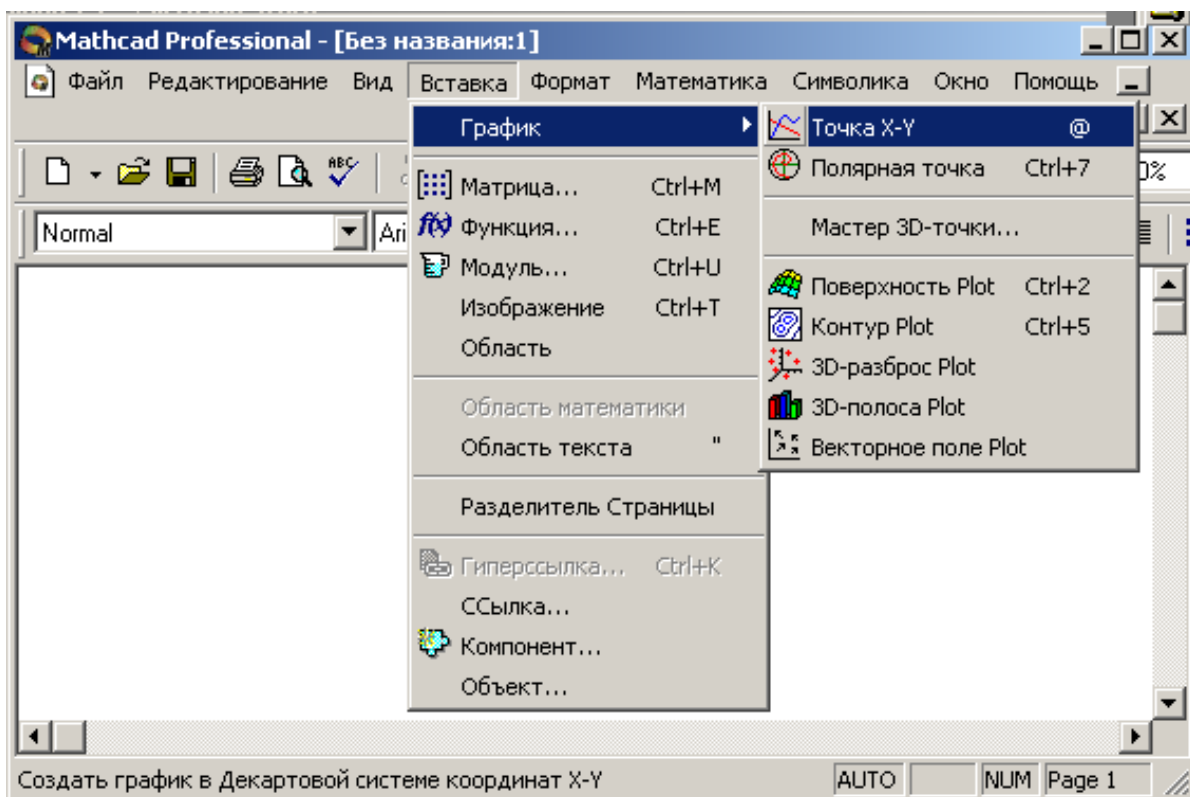


Рис. 1.37

Такий же результат можна отримати, якщо на панелі **Math** (Математика) вибрати панель **Graph** (Графік), потім клацнути на кнопці із зображенням відповідного типу графіка.

Розглянемо побудову графіка функції:

$$C(v) := \frac{P_{br} \cdot v^2}{g \cdot R}$$

Для створення, наприклад, декартового графіка (XY-Plot) необхідно:

1. Встановити курсор введення в тому місці документа, де повинен розміщуватися графік.
2. Ввести початкові дані P_{br} , v , g , R і функцію, графік якої необхідно побудувати. При цьому v водиться як ранжирована змінна.
3. На панелі інструментів **Graph** (Графік) клацнути на кнопці **Декартовый график** (XY-Plot, Декартовий графік).
4. На робочому аркуші з'явиться порожня область графіка (рис. 1.38).
5. У нижній місцезаповнювач ввести символ « v », у лівий – « $C(v)$ ».

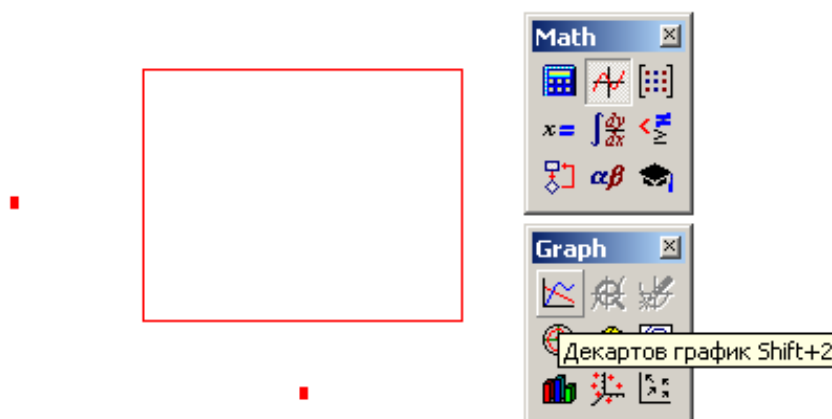


Рис. 1.38

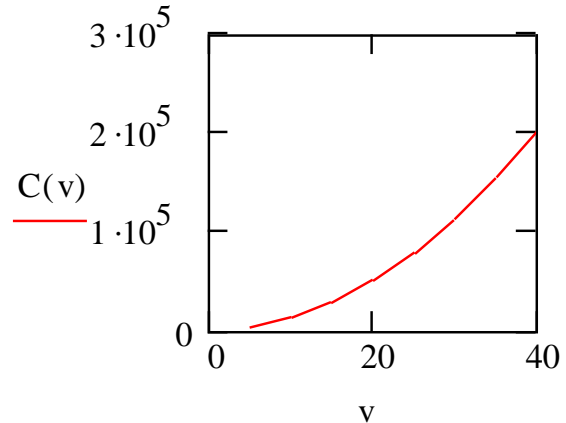
Можна вивести на робочий лист значення v та $C(v)$.

У результаті документ набуде такого вигляду:

$$P_{br} := 750 \cdot 10^3 \quad g := 9.8 \quad R := 600 \quad v := 5, 10..40$$

$$C(v) := \frac{P_{br} \cdot v^2}{g \cdot R}$$

v =	C(v) =
5	$3.189 \cdot 10^3$
10	$1.276 \cdot 10^4$
15	$2.87 \cdot 10^4$
20	$5.102 \cdot 10^4$
25	$7.972 \cdot 10^4$
30	$1.148 \cdot 10^5$
35	$1.563 \cdot 10^5$
40	$2.041 \cdot 10^5$



Тепер можна перейти до форматування графіка.

Форматування координатних осей включає до себе зміну їх зовнішнього вигляду, діапазонів, шкали, нумерації та ін.

Щоб змінити діапазони осей, необхідно:

1. Клацнути по графіку мишею.
2. Графік буде виділений, а поблизу кінців осей з'являться поля, в яких будуть виведені межі діапазонів осей.
3. Клацнути мишею по числу 40 поблизу кінця горизонтальної осі та за допомогою клавіш «Delete» і «Back Space» змінити 40 на 45.
4. Клацнути мишею по числу $2 \cdot 10^5$ поблизу кінця вертикальної осі та змінити число $2 \cdot 10^5$ на $2.5 \cdot 10^5$.
5. Клацнути мишею за межами графіка. Межі полів будуть автоматично змінені (рис. 1.39).

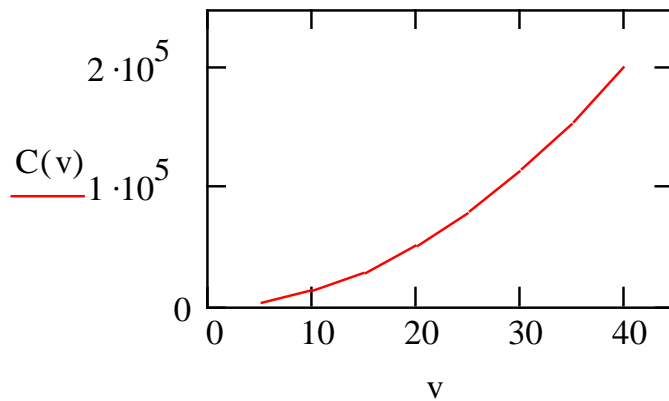


Рис. 1.39

На одному графіку можна побудувати декілька кривих. Створимо документ для відображення залежностей $C(v)$ та $H_{\text{бр}}(v)$. Введемо початкові дані та формули, за якими розраховуються функції $C(v)$ та $H_{\text{бр}}(v)$.

Спочатку побудуємо графік функції $C(v)$. На графіку поряд з віссю ординат відображається ім'я функції та тип лінії. Клацнемо праворуч від імені функції $C(v)$ так, щоб лінія введення охоплювала символи $C(v)$, і введемо кому. При цьому нижче з'явиться місцезаповнювач, в який потрібно ввести ім'я функції $H_{\text{бр}}(v)$. На графіку з'явиться друга крива. Після цього документ набуде такого вигляду (рис. 1.40):

$$\begin{aligned}
 P_{\text{бр}} &:= 750 \cdot 10^3 & R &:= 600 & v &:= 5, 10 \dots 40 \\
 g &:= 9.8 & h &:= 0.15 & s &:= 1.58 \\
 C(v) &:= \frac{P_{\text{бр}} \cdot v^2}{g \cdot R} & H_{\text{бр}}(v) &:= \left(\frac{v^2}{g \cdot R} - \frac{h}{s} \right) \cdot P_{\text{бр}}
 \end{aligned}$$

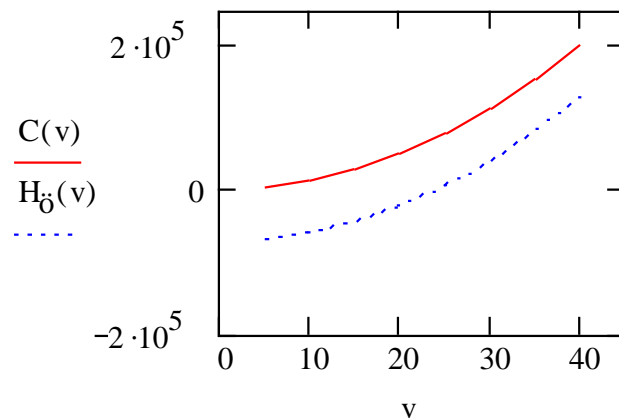


Рис. 1.40

Зовнішній вигляд графіка можна змінити таким чином:

- клацнути по графіку. Графік буде виділений і навколо графіка з'явиться рамка;
- вибрати команду **Точка X-Y** (X-Y Plot) підменю **Графік** (Graph, Графік) меню **Формат** (Format) або виконати подвійне клацання на виділеному графіку. У результаті на екрані з'явиться діалогове вікно (рис. 1.41).

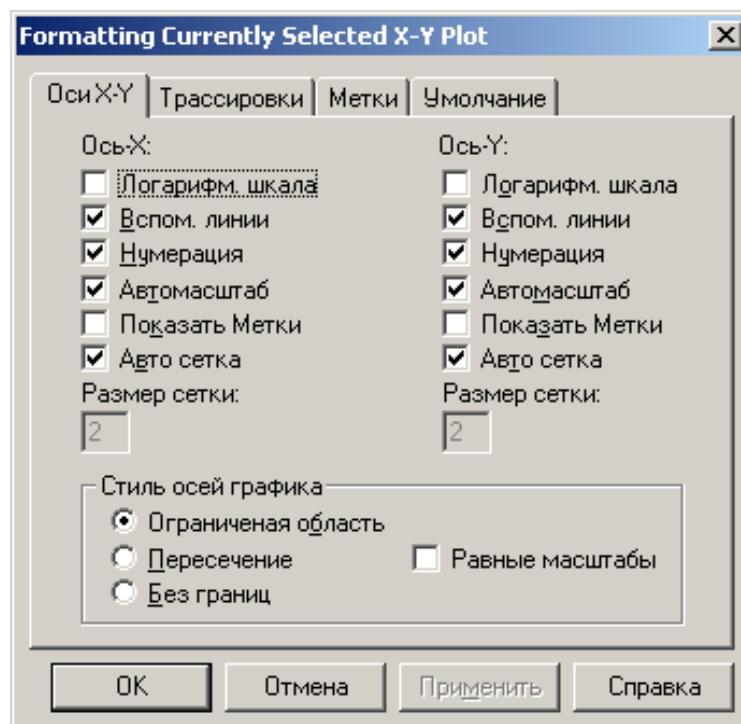


Рис. 1.41

Дане діалогове вікно дозволяє змінювати зовнішній вигляд кожної з осей. Вікно містить такі опції:

- **Логарифм. шкала** (Log Scale, Логарифм. шкала) – графік по даній осі буде зображений у логарифмічному масштабі. У цьому випадку межі графіків повинні задаватися позитивними числами;

- **Вспом. линии** (Grid Lines, Допом. лінії) – задає лінії сітки з паралельних осей;

- **Нумерация** (Numbered, Нумерація) – показує нумерацію шкали. Якщо прибрати цей прапорець, то числа, якими розмічається шкала, пропадуть;

- **Автомасштаб** (Auto scale) – задає автоматичне знаходження відповідних меж для осей;

- **Показать метки** (Show Markers, Показати мітки). Якщо встановлена ця опція, то в графічній області з'являються чотири додаткові комірочки для створення червоних ліній маркіровки, що відповідають двом спеціальним значенням x та двом значенням y ;

- **Авто сетка** (Auto Grid, Авто сітка). У разі встановлення цієї опції число ліній сітки встановлюється автоматично. Якщо у вікні **Авто сетка** зняти прапорець, можна задати розмір сітки;

- **Равные масштабы** (Equal Scales, Рівні масштаби). Якщо в цьому вікні встановити прапорець, то осі x та y примусово зображуються в однакових масштабах.

У цьому ж діалоговому вікні можна вибрати такі варіанти зображення осей: **Ограниченная область** (Boxed, Обмеження), **Пересечение** (Crossed, Перетин), **Без границ** (None, Без меж). Стандартною установкою є **Обмеження** (Boxed). У цьому випадку осі встановлюються по межах графіка. При виборі стилю осей **Перетин** (Crossed) координатні осі зображуються у вигляді двох перетятих прямих. Щоб змінити тип лінії графіка, необхідно активізувати вкладку **Трассировки** (Traces, Трасування). На вкладці **Трассировки** (Traces, Трасування) знаходяться такі поля для вибору параметрів ліній (рис. 1.42):

- **Легенда** (Legend, Легенд). Кожній кривій можна поставити у відповідність деякий текст, що називається легендою. Легенда відображається в нижній частині графічної області. Якщо на графіку декілька кривих, то кожній кривій відповідає своя легенда та тип лінії;

- **Символ** (Symbol). Кожна окрема точка кривої відображається певним символом (наприклад +, ×, • та ін.);

- **Строк** (Line, Рядків). Можна вибрати один з наступних типів ліній: solid (суцільна), dash (штрихова), dot (пунктирна), dadot (штрихпунктирна);

- **Цвет** (Color, Колір) – колір ліній;

- **Тип** (Type). Можна вибрати вид графіка: у вигляді лінії (lines), у вигляді точок (points), у вигляді стовпців (bar) і т.п. Спеціальним видом графіка є вид error (погрішність), що є різницею двох заданих функцій;

- **Вес** (Weight, Вага). Дозволяє задати товщину лінії графіка.

У нижній частині вкладки **Трассировки** (Traces, Трасування) розташовані опції:

- **Скрыть аргументы** (Hide Arguments, Приховати аргументи). За умовчанням ця опція відключена. У цьому випадку поряд з вертикальною віссю вказується ім'я функції та тип лінії. Якщо встановити прапорець, то ім'я функції і тип лінії вказуватися не будуть;

- **Скрыть легенду** (Hide Legend, Заховати легенду). За умовчанням легенда не відображається.

Вкладка **Метки** (Labels, Мітки) дозволяє вводити заголовок графіка та підписи для осей.

Змінимо графік, показаний на рис. 1.40. Відобразимо лінії сітки, змінимо товщину ліній, а також покажемо символи для другого графіка. Крім того, відобразимо легенди для обох графіків.

У результаті графіки набудуть вигляду, котрий показаний на рис. 1.43.

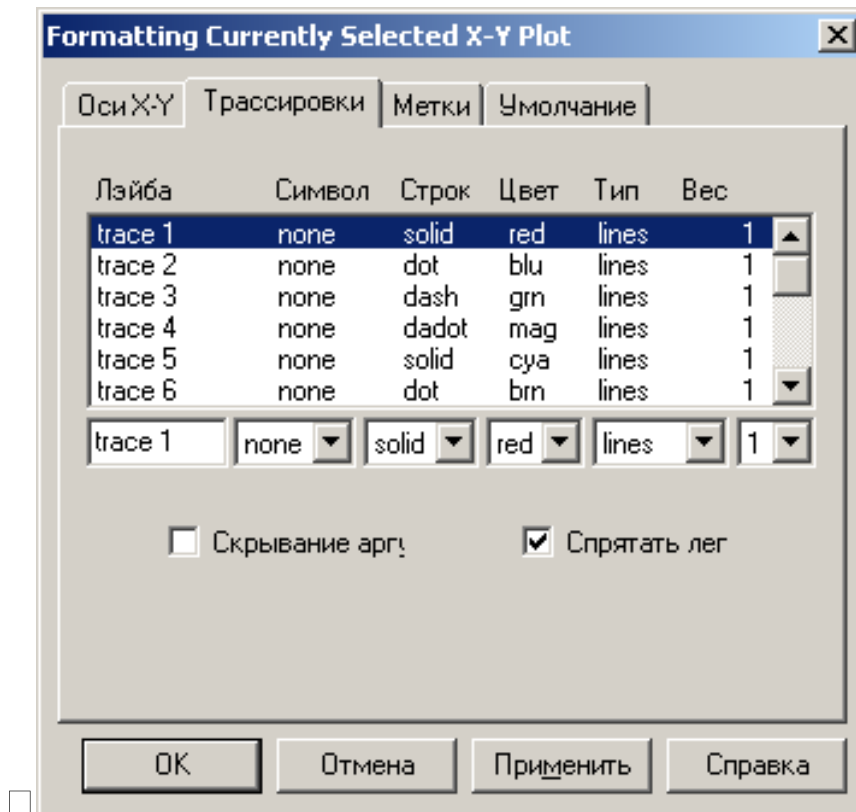


Рис. 1.42

Після форматування графік буде мати такий вигляд (рис. 1.43):

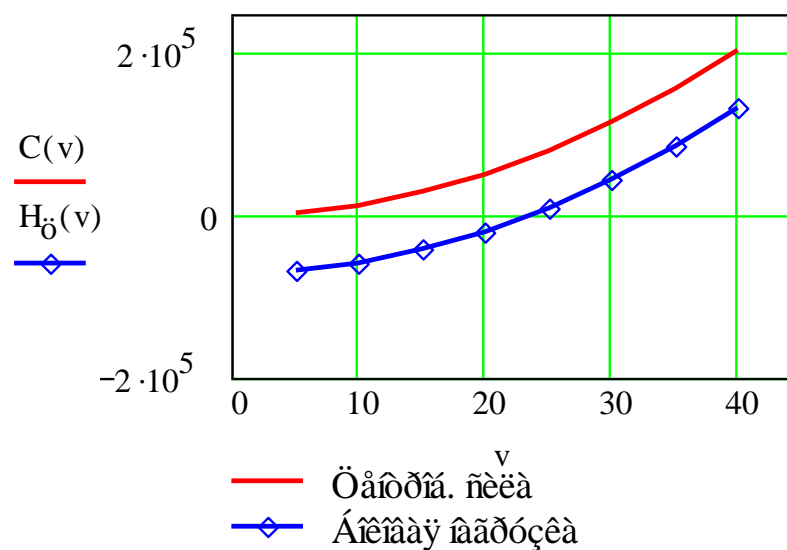


Рис. 1.43

Зручним способом відображення значень будь-якої точки кривої є трасування. Для включення режиму трасування необхідно клацнути в області графіка та вибрати в контекстному меню пункт **Трассировки** (Трасування, Trace). В області графіка з'явиться вікно трасування. Якщо клацнути лівою клавiшею миші по будь-якій точці кривої, у полях **X-Value** (Значення X) та **Y-Value** (Значення Y) з'являться значення координат точки кривої. А точка знаходитиметься на перетині двох пунктирних ліній (рис. 1.44).

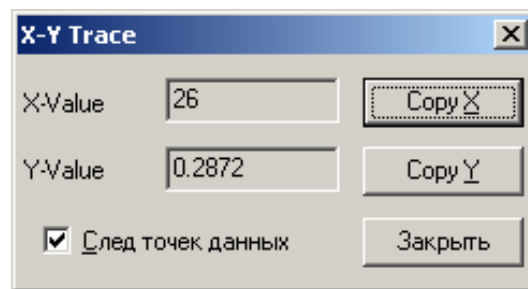


Рис. 1.44

Якщо встановити опцію **След точек данных** (Trace Data Points, Слід точок даних), то курсор (дві хрестоподібні пунктирні лінії) переміщатиметься уздовж лінії графіка функції та можна буде прочитати поточні значення аргументу x і відповідні значення функції $f(x)$. Координати поточної точки можна скопіювати у буфер за допомогою кнопок **Сору X** (Копіювати X) і **Сору Y** (Копіювати Y).

Складнішими графіками є графіки поверхонь.
Побудуємо графік функції

$$H_0(v, R) := \left(\frac{v^2}{g \cdot R} - \frac{h}{s} \right) \cdot P_{br}$$

у вигляді поверхні в тривимірному просторі.

Введемо початкові дані:

$$P_{br} := 750 \cdot 10^3; \quad s := 1.58; \quad g := 9.8; \quad h := 0.1.$$

Введемо параметри графіка:

$N:=15$		число ліній сітки;
$i:=0..N$	$j:=0..N$	змінні i та j ;
$v_{\min}:=5$	$v_{\max}:=40$	проміжок зміни v ;
$R_{\min}:=400$	$R_{\max}:=1200$	проміжок зміни R .

Задамо вузлові точки v_i і R_j , в яких визначатимуться значення функції. Якщо прийняти, що ці значення будуть розташовані через рівні проміжки, то можна скористатися такими формулами:


$$v_i := v_{\min} + \frac{i}{N} \cdot (v_{\max} - v_{\min}) \quad i := 0..N$$
$$R_j := R_{\min} + \frac{j}{N} \cdot (R_{\max} - R_{\min}) \quad j := 0..N$$

Після того як в документ Mathcad введено визначення функції

$$H_0(v, R) := \left(\frac{v^2}{g \cdot R} - \frac{h}{s} \right) \cdot P_{br}$$

графік якої ми хочемо побудувати, необхідно задати матрицю значень функції у вигляді

$$A_{i,j} := H_0(v_i, R_j)$$

Виберемо команду **Insert - Graph - Surface Plot** (Вставка – Графік – Точка X-Y) або клацнемо на кнопці  (Графік поверхні). У комірку графічної області введемо ім'я матриці значень функції.

Таким чином, робочий аркуш Mathcad матиме такий вигляд (рис. 1.45):

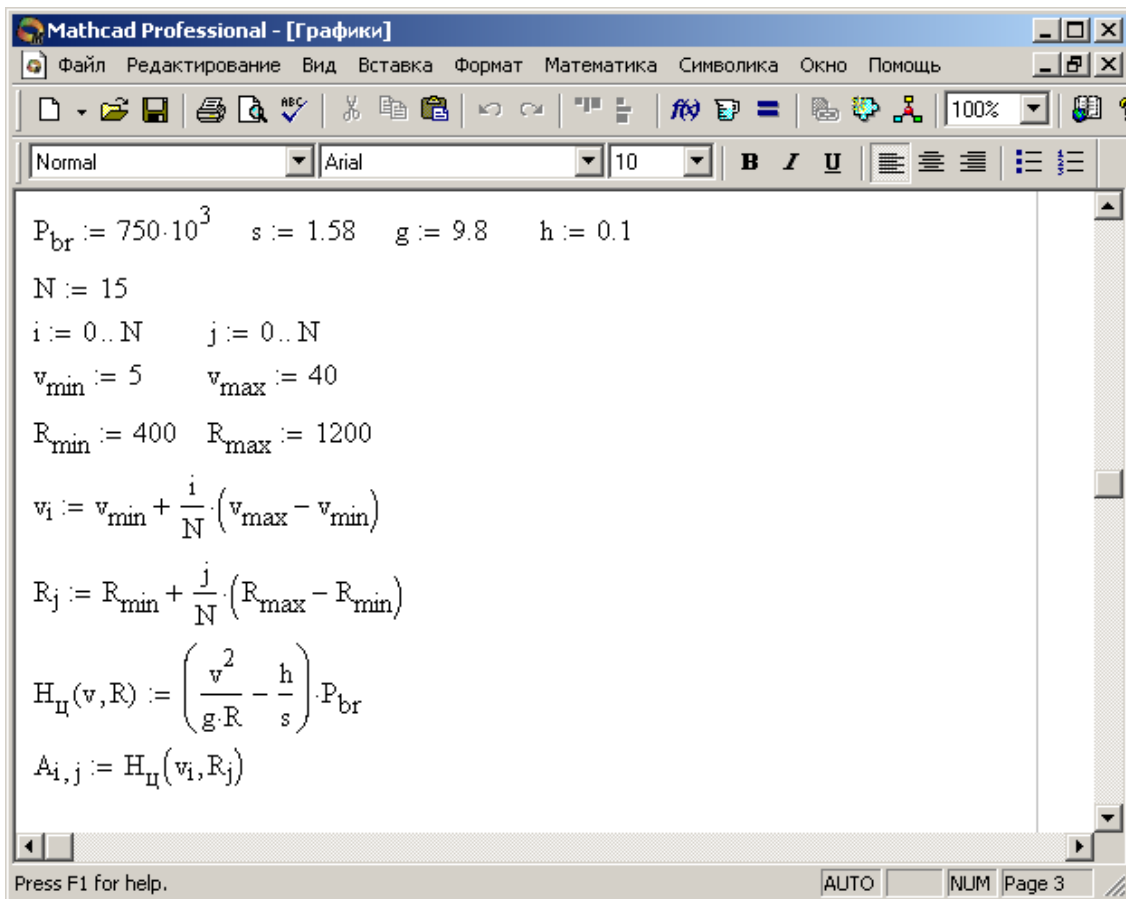
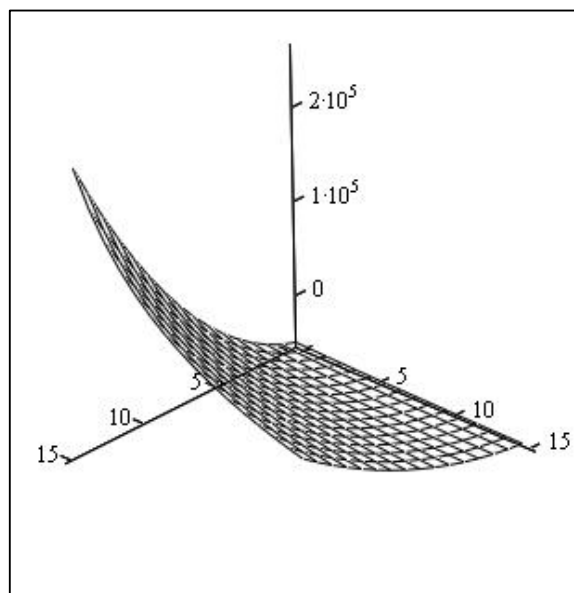


Рис. 1.45

Графік функції показаний на рис. 1.46.

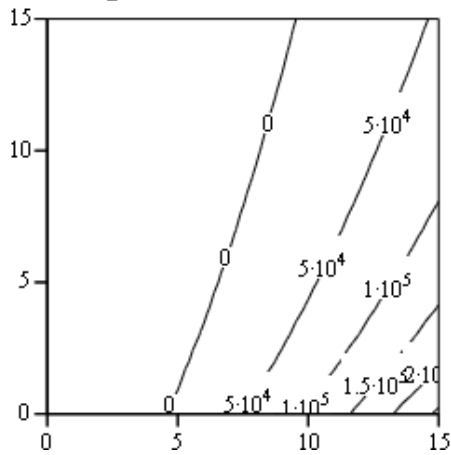


A

Рис. 1.46

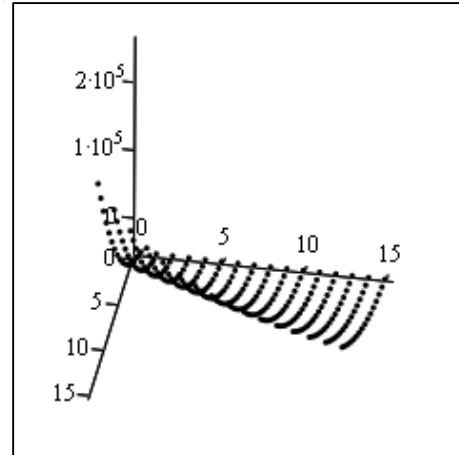
Інші види графіків показані на рис. 1.47.

а) лінії рівня



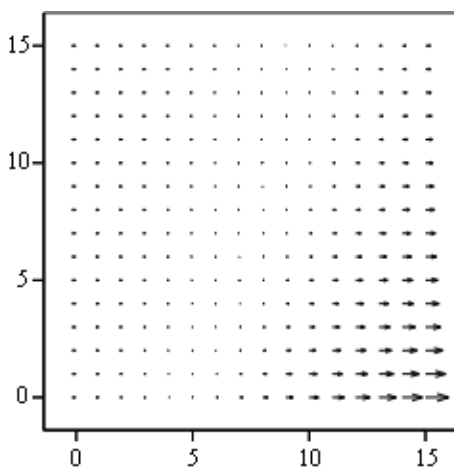
А

б) 3D-точковий



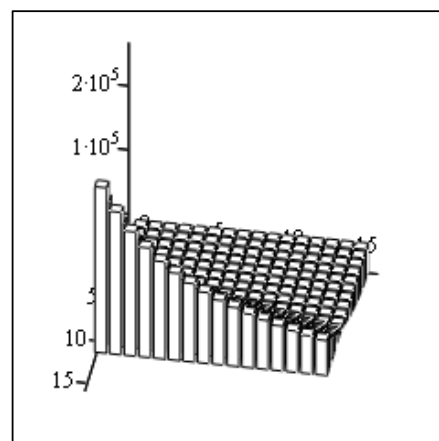
А

в) векторне поле



А

г) 3D-стовпчикова гістограма



А

Рис. 1.47

2. СИСТЕМА ЕЛЕКТРОННИХ ТАБЛИЦЬ EXCEL

Ехсел є програмним засобом для роботи з таблицями та дозволяє виконувати обчислення, працювати з текстом, управляти базами даних. Проте можливості Ехсел значно ширші. У багатьох випадках Ехсел успішно конкурує зі спеціалізованими програмами. Ехсел є однією з найпопулярніших програм і широко використовується в різних сферах діяльності, включаючи інженерні розрахунки.

2.1. Початок роботи

2.1.1. Елементи екрана Excel

Після запуску Excel на екрані з'являється порожній робочий аркуш (рис. 2.1). Робочим аркушем називають кожну електронну таблицю. Безліч робочих аркушів утворює робочу книгу.

Рис. 2.1

Перехід від одного робочого аркуша до іншого здійснюється за допомогою ярликів, розташованих у лівій нижній частині робочого аркуша. Для цього слід клацнути лівою клавішею миші по ярличку аркуша, на який необхідно перейти.

Можна переміщатися по робочих аркушах за допомогою таких кнопок:

- ▶ Перейти до першого робочого аркуша;
- ◀ Перейти до попереднього робочого аркуша;
- ◀ Перейти до наступного робочого аркуша;
- ▶ Перейти до останнього робочого аркуша.

За власним бажанням користувач може вивести в робочій книзі або видалити панель інструментів. Для виведення на робочий аркуш панелі інструментів необхідно вибрати в рядку меню **Вид - Панелі інструментов** (Вид - Панелі інструментів) і встановити прапорець поряд з необхідною панеллю (рис. 2.2).

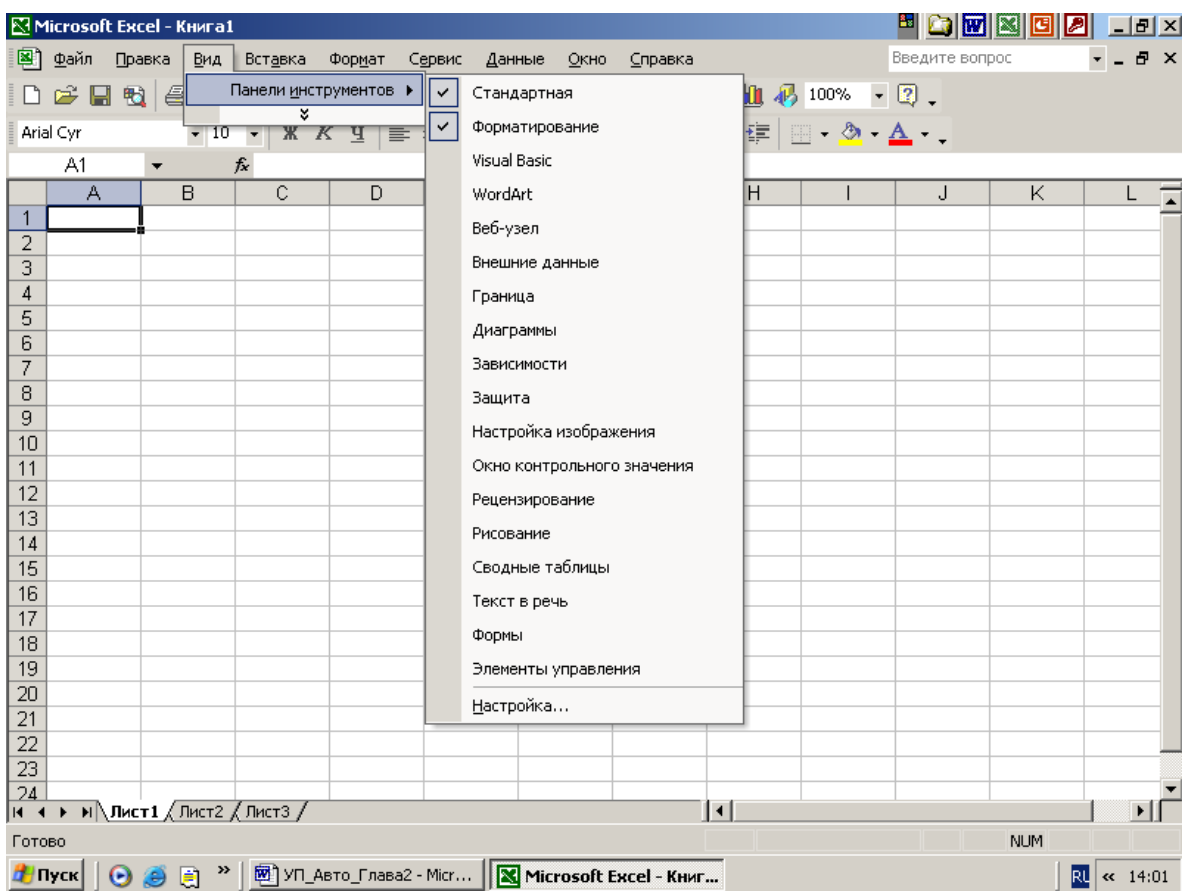


Рис. 2.2

За умовчанням ярлики мають назви Лист 1, Лист 2, Лист 3. Щоб краще проглядати дані на робочих аркушах, їм можна привласнити інші імена. Клацніть правою клавішею миші на ярличку аркуша, що потрібно перейменувати. На екрані з'явиться меню (рис. 2.3). Виберіть команду **Переименовать** (Перейменувати). Ім'я ярличка аркуша стане виділеним. Введіть нове ім'я і натисніть клавішу Enter.

Так само можна додати робочий аркуш, видалити, перемістити, скопіювати і т.п.

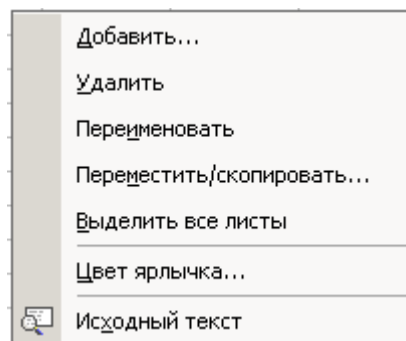


Рис. 2.3

Елементами екрана Excel можна управляти за допомогою вибору параметрів. Для цього в головному меню виберіть **Сервис** (Сервіс) – **Параметры** (Параметри) та видаліть (або встановіть) відповідний прапорець (рис. 2.4). Наприклад, щоб не відображати на робочому аркуші вертикальну і горизонтальну смугу прокрутки, у вікні **Параметры** необхідно зняти відповідні прапорці.

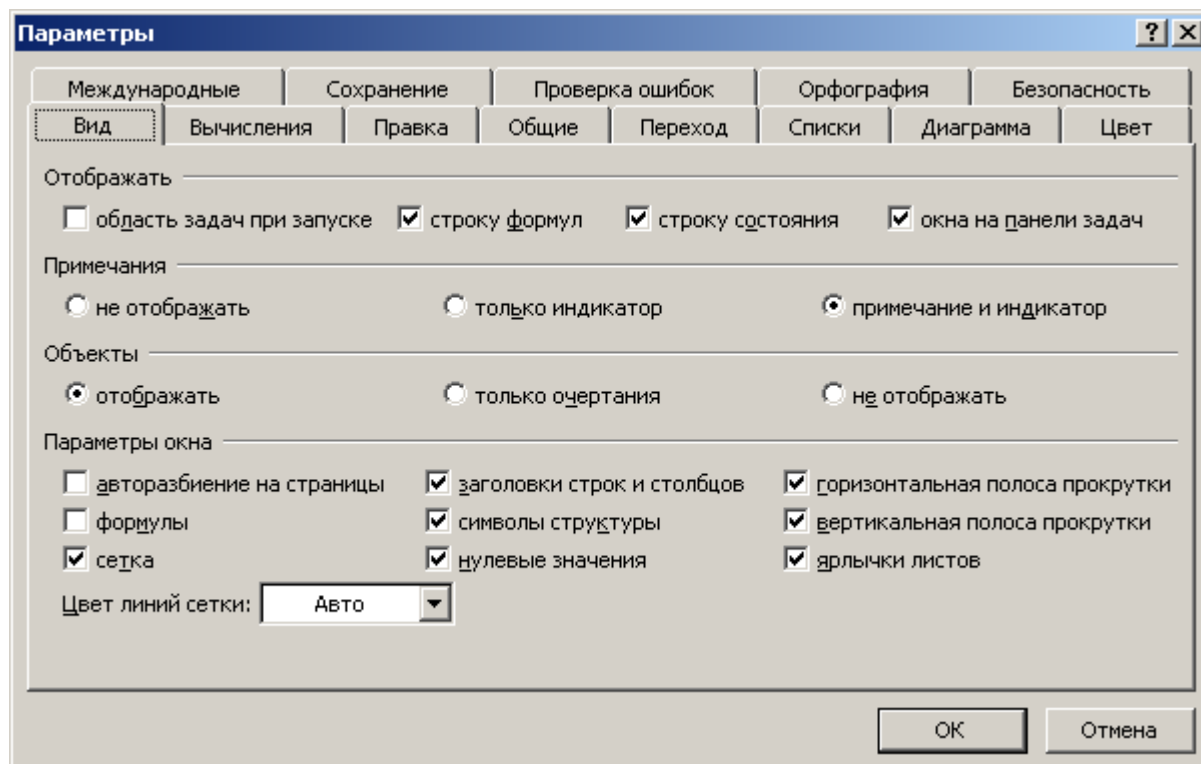


Рис. 2.4

2.1.2. Комірка робочого аркуша

Робочий аркуш Excel роздільний на окремі комірки. Стовпці озаглавлені латинськими буквами А, В, С, D,..., АА, АВ, АС,..., рядки – цифрами. На перерізі рядка та стовпця знаходиться комірка. Кожна комірка має свою адресу: А3, С8, В12 і т.д. У комірку можна ввести текст, число, формулу та ін.

Одна з комірок робочого аркуша обрамлена чорною рамкою. Ці комірки називають активними. Дані вводяться в активну комірку. Переміщатися по робочому аркушу можна за допомогою миші або клавішами «↑», «↓», «←» або «→». Для того щоб звернутися до комірки неактивного робочого аркуша, слід вказати ім'я аркуша та адресу комірки, наприклад, Лист2!В1. В цьому випадку ім'я аркуша та адреса комірки розділяються знаком оклику.

Можна вказувати адресу комірки за її ім'ям. Ім'я або адреса активної комірки виводиться в полі імен, що розташоване у лівого краю рядка формул (рис. 2.2).

Для привласнення імені активній комірці виберіть у головному меню команду **Вставка – Ім'я (Ім'я) – Присвоить (Привласнити)**. Відкриється діалогове вікно **Присвоение имени (Привласнення імені)**, в якому потрібно ввести ім'я комірки (рис. 2.5). В імені поля не має бути пропусків.

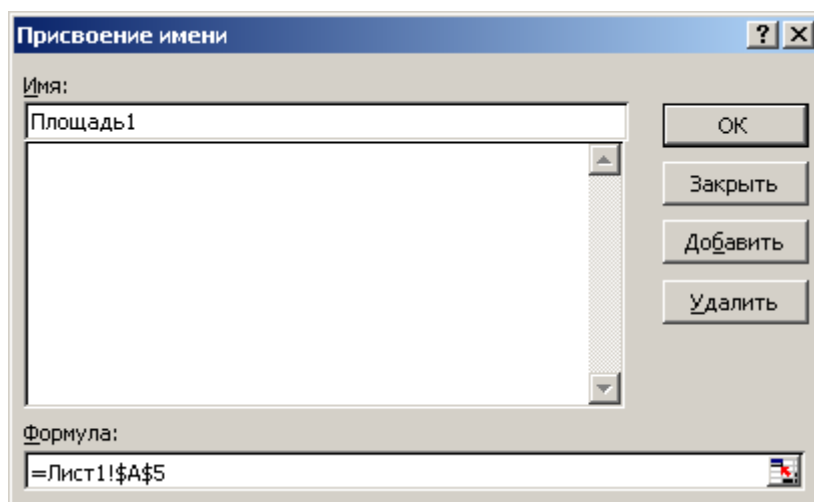


Рис. 2.5

2.1.3. Введення формул в комірки

Для введення формули в активну комірку вводиться знак рівності « = », потім можуть вводитися оператори (табл. 2.1), пари круглих дужок, числа, адреси або імена комірок, а також функції робочого аркуша.

Таблиця 2.1

Оператор	Назва	Приклад
Арифметичні оператори		
+	додавання	=A1+1
-	віднімання	=6-C4
*	множення	=B3*X18
/	ділення	=D3/Q5
^	зведення у ступінь	=2^5
Оператори порівняння		
=	дорівнює	
<	менше	
>	більше	
<=	менше або дорівнює	
>=	більше або дорівнює	
< >	не дорівнює	
Оператори зв'язку		
:	діапазон	=СУММ(A1:C10)
;	об'єднання	=СУММ(A1:A6);A9

Якщо формула містить декілька операторів, то вони виконуються у визначеній послідовності.

Ієрархія операторів наводиться нижче:

- ∴, ; оператори зв'язку;
- оператор заперечення;
- ^ оператор зведення у ступінь;
- *, / оператор точкових обчислень;
- +, - оператор лінійних обчислень;
- <, >, <=, >=, < > оператори порівняння.

Дуже важливим елементом формули є дужки. Операції усередині дужок мають переваги перед іншими. Кількість відкритих дужок має дорівнювати кількості закритих дужок.

Введемо в комірки A1, A2, A3, A2 та B1, B2, B3 числа 2, 3, 4, 7, 8, 9, а в комірку C1 таку формулу:

$$=A1+B1.$$

При виділенні осередку в правому нижньому кутку рамки з'явиться маленький квадратик, що називається маркером заповнення. При розташуванні покажчика миші на маркері заповнення він набуває вигляду чорного хрестика. Натиснемо ліву клавішу миші і, не відпускаючи, протягнемо вниз до заповнення комірок C2 та C3.

У комірках C2 та C3 з'являться числа 11 та 13. Якщо активізувати комірку C2, то в рядку формул можна побачити формулу

$$=A2+B2,$$

а в комірці C3 формулу

$$=A3+B3.$$

За умовчанням Excel створює відносні посилання на адреси комірок. Це означає, що Excel при копіюванні змінює посилання на адреси відповідно до нового положення формули. Якщо при копіюванні необхідно, щоб адреса комірки не змінювалася, слід використовувати абсолютне посилання. За допомогою абсолютних посилань можна примусити Excel змінювати посилання на стовпці, але зберігати посилання на рядок постійної, або змінювати посилання на рядки, але зберігати посилання на стовпець постійної, або зберігати постійними посилання як на стовпець, так і на рядок. Щоб замінити відносне посилання на абсолютне, необхідно ввести знак \$ перед тією частиною посилання, що має стати абсолютним. Нижче наводяться декілька прикладів:

\$A1 – завжди посилається на стовпець А, посилення на рядки може змінюватися;

A\$1 – завжди посилається на рядок 1, посилення на стовпець може змінюватися;

\$A\$1 – завжди посилається на комірку А1.

2.2. Функції Excel

Для скорочення формули можна використовувати функції. Простим прикладом використання функцій є обчислення суми.


Нехай в комірках С1, С2, С3, С4 знаходяться числа 2, 3, 5, 8. Для обчислення суми цих чисел необхідно активізувати комірку С5 та в рядку введення ввести таку формулу:

$$=C1+C2+C3+C4.$$

Результат з'явиться в комірці С5.

Простішим варіантом є використання функцій. Клацніть на комірку С5 і в рядку формул введіть

$$=СУММ(C1:C4).$$


Існує ще простіший варіант. Клацніть на кнопці  (Автосума). Виділіть комірки С1:С4 та натисніть клавішу Enter.


У деяких випадках можна використовувати складніші формули, наприклад:

$$\begin{aligned} &=СУММ(C1:C4;D2); \\ &=СУММ(C1:C4;D1:D4). \end{aligned}$$

2.2.1. Майстер функцій

Припустимо, що на робочому аркуші в комірках В2:В5 знаходяться числа 2,3; 55; 12, для яких необхідно знайти середнє значення. Результат має бути виведений в комірці В6.

Для отримання середнього значення будемо використовувати функції робочого аркуша. Функцію можна ввести у формулу командою **Вставить (Вставити) – Функції (Функції)** або натисненням кнопки  – **Мастер функций (Майстер функцій)**.

Клацнемо по комірці B6, а потім натиснемо кнопку  . З'явиться діалогове вікно Майстра функцій (рис. 2.6).

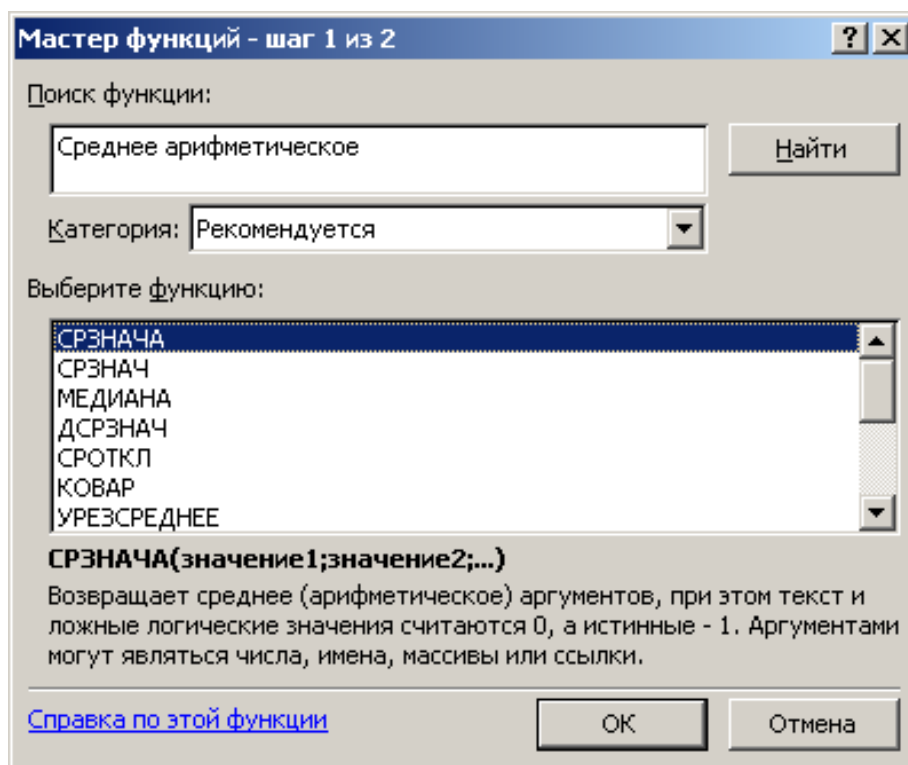


Рис. 2.6

У вікні **Поиск функции (Пошук функції)** буде запропоновано ввести короткий опис дії, яку потрібно виконати. Введемо слова «Среднее арифметическое» (Середнє арифметичне) та натиснемо кнопку «Найти» (Знайти). У вікні **Выберите функцию (Оберіть функцію)** Excel запропонує функцію СРЗНАЧ. Нижче буде проведено короткий опис цієї функції. За необхідності можна проглянути довідку з цієї функції.

Натисніть кнопку ОК. Excel перейде до другого діалогу Майстра функцій (рис. 2.7).



Рис. 2.7

У цьому діалозі слід задати аргументи функції для обчислення середнього значення.

У полі **Значение 1** (Значення 1) клацніть по кнопці справа. З'явиться вікно **Аргументы функции** (Аргументи функції) (рис. 2.7). Виділіть діапазон осередків B2:B5 та натисніть клавішу Enter.

З'явиться вікно Майстра функцій (рис. 2.8), в якому в полі **Значение 1** (Значення 1) відображається діапазон комірок. У нижній частині вказано середнє значення, що в даному випадку дорівнює 18.

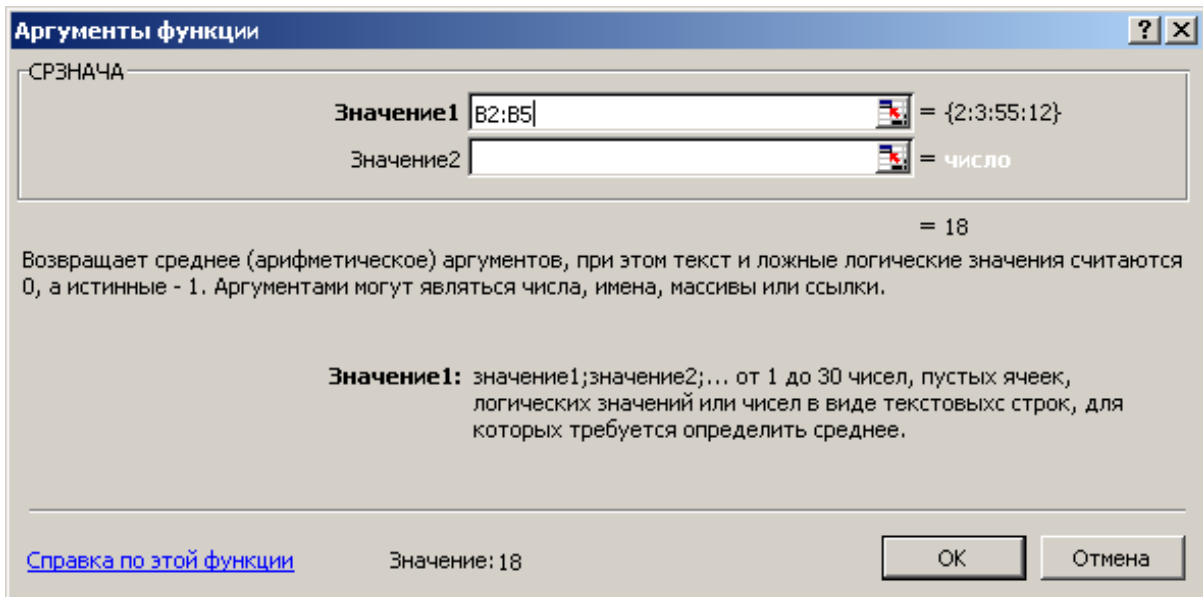


Рис. 2.8

Клацніть по кнопці ОК. Результат з'явиться в комірці B6.

В Excel вбудовано більше двохсот функцій. Вони згруповані за такими типами:

- фінансові;
- дата і час;

- математичні;
- статистичні;
- посилання та масиви;
- робота з базою даних;
- текстові;
- логічні;
- перевірка властивостей та значень;
- інженерні;
- інформаційні;
- арифметичні та тригонометричні.

Нижче будуть розглянуті деякі функції, що найчастіше зустрічаються в наукових та інженерних розрахунках.

2.2.2. Математичні функції

Математичні функції є основою для більшості обчислень на робочому аркуші.

ABS(число)

Приклади:

=ABS(-5) - повертає 5;

=ABS(5) - повертає 5.

Якщо в комірці A2 міститься число -5, то формула в комірці A3
=ABS(A2) повертає 5.

ОКРУГЛ(число;точность)

Округляє число до вказаної кількості десяткових розрядів. Число – це число, що округляється. Точність – тут кількість десяткових розрядів, до якої потрібно округляти число.

Приклади:

=ОКРУГЛ(8,172;1) - повертає 8,2;

=ОКРУГЛ(A5;2) - повертає 8,17.

ОКРУГЛВВЕРХ(число;точность)

Надає число, округлене з надлишком до найближчого числа, кратного точності. Число – це число, що округляється. Точність – тут кількість десяткових розрядів, до якої потрібно округляти число.

Приклади:

=ОКРУГЛВВЕРХ(A5;1) - повертає 8,2;
=ОКРУГЛВВЕРХ(A5;2) - повертає 8,18.

ОКРУГЛВНИЗ(число;точность)

Надає число, округлене з недоставанням до найближчого числа, кратного точності. Число – це число, що округляється. Точність – тут кількість десяткових розрядів, до якої потрібно округляти число.

Приклади:

=ОКРУГЛВНИЗ(A5;1) - повертає 8,1;
=ОКРУГЛВНИЗ(A5;2) - повертає 8,17.

SIN(число)

Повертає значення синуса заданого кута. Число – це кут у радіанах, для якого визначається синус. Якщо кут заданий у градусах, необхідно помножити його на $\Pi() / 180$ або використовувати функцію РАДІАНИ (РАДИАНЫ), щоб перетворити його на радіани.

Приклади:

=SIN(2,5) - повертає значення синуса кута 2,5 радіан, дорівнює 0,598472 ;
= SIN (65* $\Pi() / 180$) - повертає значення синуса кута 65 градусів, дорівнює 0,906308;
=SIN(РАДИАНЫ(65)) - повертає значення синуса кута 65 градусів, дорівнює 0,906308.

COS(число)

Повертає значення косинуса заданого кута. Число – це кут у радіанах, для якого визначається косинус. Якщо кут заданий у градусах, необхідно помножити його на $\Pi()/180$ або використувати функцію РАДІАНИ(РАДІАНЫ), щоб перетворити його на радіани.

Приклади:

=COS(1,5) - повертає значення косинуса кута 1,5 радіан, дорівнює 0,070737;

=COS(65* $\Pi() /180$) - повертає значення косинуса кута 65 градусів, дорівнює 0,422618;

=COS(РАДІАНЫ(65)) - повертає значення косинуса кута 65 градусів, дорівнює 0,422618.

СТЕПЕНЬ(число;ступень)

Число – будь-яке дійсне число. Степінь – показник степеня, в який зводиться основа.

Приклади:

=СТЕПЕНЬ(5;2) - повертає 25;

=СТЕПЕНЬ(25;1/2) - повертає 5.

=КОРЕНЬ(число)

Повертає квадратний корінь із заданого позитивного числа. Якщо число негативне, то функція КОРЕНЬ повертає значення помилки #Число!

Приклади:

=КОРЕНЬ(49) - повертає 7.

LN(число)

Повертає натуральний логарифм числа. Натуральний логарифм – це логарифм по основі e (2,718271281828).

Приклади:

=LN(3) - повертає 1,098612.

СЛЧИС()

Повертає рівномірно розподілене випадкове число, що більше або дорівнює 0 та менше 1. Щоб одержати випадкове число між **a** та **b**, можна використовувати таку формулу:

$$=\text{СЛЧИС}()*(b-a) + a.$$

Нове випадкове число повертається при кожному обчисленні робочого аркуша.

Приклади:

=СЛЧИС()*(6-2)+2 - повертає число 2,748265.

2.2.3. Статистичні функції

МАКС(число1;число2;..)

Повертає найбільше значення аргументів.

МАКС() може приймати до 30 аргументів.

Приклад:

=МАКС(С8:D10) - повертає 66, якщо в комірках знаходяться числа -6, 12, 8, 66.

МИН(число1;число2;..)

Повертає найменше зі значень аргументів.

МИН() може мати до 30 аргументів.

Приклад:

=МИН(С8:D10) - повертає -6, якщо в комірках знаходяться числа -6, 12, 8, 66.

СТАНДОТКЛОН (число1;число2;..)

Обчислює оцінку стандартного відхилення генеральної сукупності за вибіркою **число1;число2;...**

СТАНДОТКЛОН () може мати до 30 аргументів. Якщо аргументи включають всю генеральну сукупність, можна використовувати СТАНДОТКЛОН().

Приклад:

=СТАНДОТКЛОН (F1:F8) - повертає 4,140393, якщо діапазон від F1 до F8 містить 2, 4, 6, 7, 14, 11, 9, 3.

ДИСП(число1;число2;..)

Обчислює оцінку дисперсії генеральної сукупності за вибіркою, заданою аргументами.

Приклад:

=ДИСП(F1:F8) повертає 14,14286, якщо діапазон від F1 до F8 містить 2, 4, 6, 7, 14, 11, 9, 3.

2.2.4. Логічні функції

Логічні функції «И»(І), «ИЛИ»(АБО), «НЕ»(НІ) дозволяють проводити логічний вибір та логічні обчислення. Функція ЕСЛИ() використовується для перевірки умов ухвалення рішень.

И(логическое1, логическое2,...)

Об'єднує умови перевірки: повертає ИСТИНА (ІСТИНА), якщо всі логічні аргументи мають значення ІСТИНА; ЛОЖЬ (ХИБНІСТЬ), якщо який-небудь логічний аргумент має значення ЛОЖЬ.

Логічні аргументи – це твердження типу C2>25 або A3+A4=8. Відповіддю може бути ИСТИНА або ЛОЖЬ. Якщо в аргументах немає логічних значень, повертається помилка #ЗНАЧ!.

Приклади:

=И(В3=0,15;С3>5) повертає значення ИСТИНА, якщо в комірці В3 знаходиться число 0,15, а в комірці С3 число 6.

=И(В3=0,15;С3>5) повертає значення ЛОЖЬ, якщо в комірці В3 знаходиться число 0,15, а в комірці С3 число 5.

ЕСЛИ(логическое_выражение;значение_если_истина; значение_если_ложь)

Повертає значення **значение_если_истина**, коли логічний вираз оцінюється, як ИСТИНА, повертає значення **значение_если_ложь**, коли логічний вираз оцінюється, як ЛОЖЬ.

Якщо аргумент **значене_если_ложь** опущений, Excel повертає величину ЛОЖЬ.

Функція ЕСЛИ() часто використовується разом з функціями И(), ИЛИ(), НЕ().

Приклади:

=ЕСЛИ(С3>15;\$B\$3*С3/15;\$B\$3+\$B\$5*3,6*10⁻⁴*(С3-15)/В6) повертає число 0,078;

=ЕСЛИ(И(\$B\$4=2;\$B\$6=0,05); "Вагон чотиривісний"; "Вагон багатовісний") повертає значення Вагон чотиривісний, якщо число в комірці В4 дорівнює 2, а число в комірці В6 дорівнює 0,015; інакше виводиться значення Вагон багатовісний;

=ЕСЛИ(С2=15;С2; "") повертає число 15, якщо С2=15; інакше виводиться порожнє значення.

ИЛИ(логическое1, логическое2,...)

Об'єднує умови перевірки: повертає ИСТИНА, якщо один або більше логічних аргументів мають значення ИСТИНА; ЛОЖЬ, якщо все логічні аргументи мають значення ЛОЖЬ.

Аргументи не можуть бути порожніми комірками, значеннями помилки або текстом.

Приклади:

=ЕСЛИ(ИЛИ(В8=1;В8=3);"1 або 3");"Ні 1 та не 3").

Формула перевіряє вміст комірки В8. Якщо в комірці В8 знаходиться 1 або 3, то видається повідомлення **1 або 3**; інакше видається повідомлення **Ні 1 та не 3**.

НЕ(логическое)

Перетворює результат аргументу **логическое** з **ИСТИНА** на **ЛОЖЬ** або зі значення **ЛОЖЬ** на значення **ИСТИНА**.

Приклад:

=ЕСЛИ(НЕ(ИЛИ(В8=1;В8=3)));"Ні 1 або 3");"1 або 3").

2.3. Оформлення робочого аркуша

2.3.1. Формати даних

Для того щоб документ мав звичний, зручний вигляд, його потрібно відформатувати. При оформленні документа форматують текст та числа.

Можна починати форматування даних виділеної комірки декількома способами:

- вибрати в головному меню команду **Формат - Ячейки - Число** та виконати форматування за допомогою діалогового вікна **Формат ячеек** (Формат комірок) (рис. 2.9);
- клацанням правої кнопки миші на комірці викликати контекстне меню (рис. 2.10), в якому вибрати команду **Формат ячеек** (Формат комірок);
- натиснути клавішу «Ctrl»+ «1», після чого відкриється діалогове вікно **Формат ячеек** (Формат комірок).

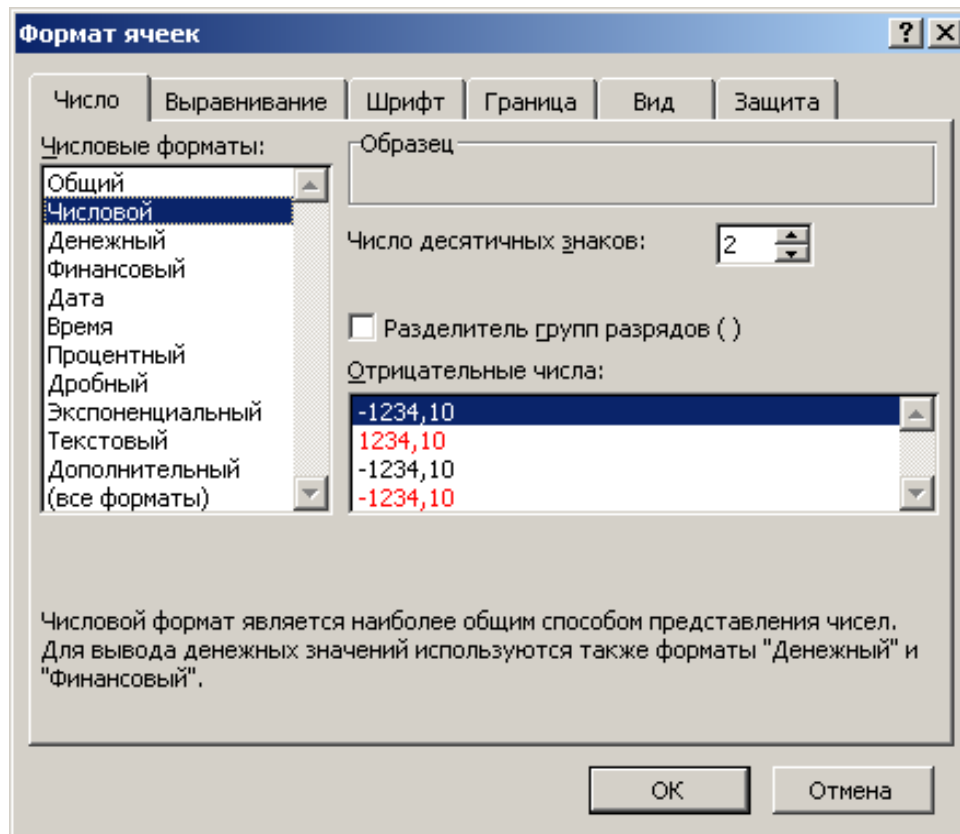


Рис. 2.9

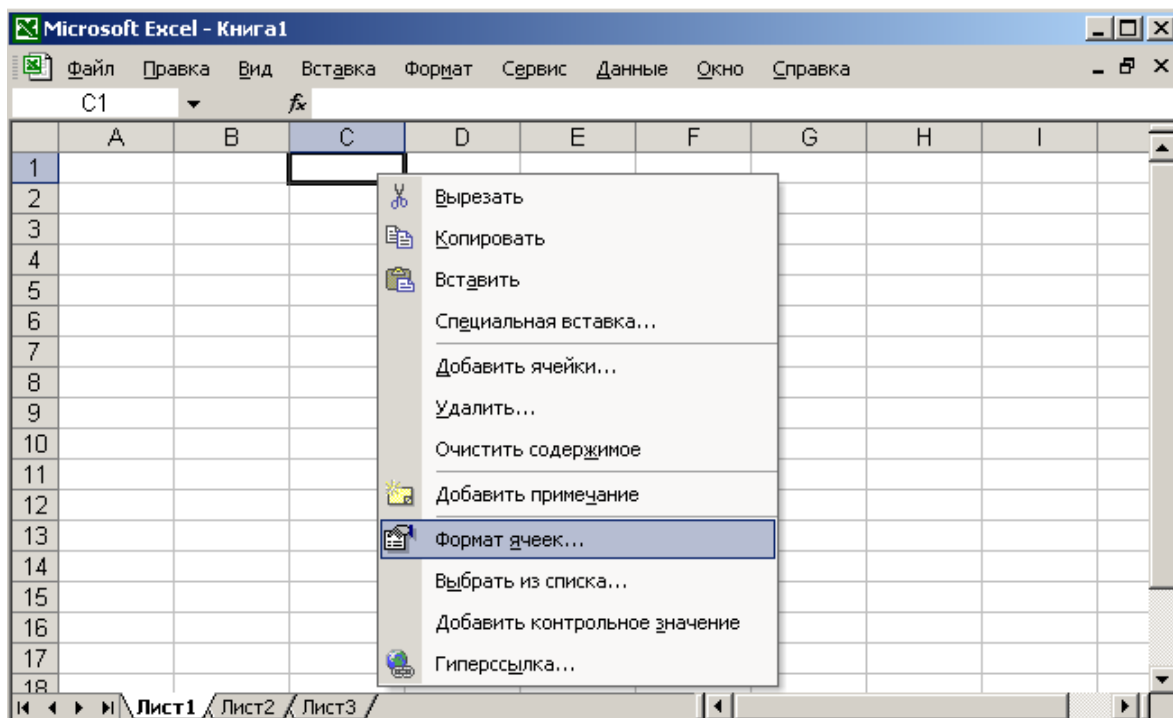




Рис. 2.10

Розглянемо основні типи форматів:

Общий (Загальний) – цей формат прийнятий за умовчанням та застосовується для відображення як текстових, так і числових значень довільного типу.

Числовой (Числовий) – визначає число знаків, що виводяться після десяткової крапки, а також дозволяє розділяти число на групи розрядів.

Для того щоб збільшити число знаків після десяткової крапки на одиницю, слід натиснути кнопку , а для зменшення – кнопку .

Денежный (Грошовий) – цей формат дозволяє задати число знаків після десяткової крапки, необхідність використання грошової одиниці та спосіб виведення від'ємних чисел.


Финансовый (Фінансовий) – цей формат дозволяє вивести знак грошової одиниці та задати вирівнювання чисел за десятковою крапкою.

Дата – ця категорія дозволяє виводити дату в одному з 12 форматів (табл. 2.2). Слід зазначити, що Excel представляє дату як її порядковий номер у рядку дат, що починається з дати 1 січня 1900 року та має порядковий номер 1. Такий спосіб дозволяє легко визначити число днів між двома датами.

Время (Час) – ця категорія дозволяє виводити час в одному з форматів (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Дата	Час
9. 6	18:33
9.6.07	7:3 PM
09.06.07	18:33:00
9 червня	7:33:0 PM
9 червня 07	18:33.0
09 червня 07	15:23:00
червень 07	09.06.07 14:45 PM
9 червня, 2007	09.06.07 14:45
09.06.07 12:00 AM	
09.06.07 0:00	
червень 9, 2007	

Процентный (Відсотковий) – виводить число, помножене на 100, із знаком відсотка та заданим числом знаків після десяткової крапки. Для того щоб вивести число в процентному форматі без десяткових знаків після десяткової крапки, натисніть кнопку .

Дробь (Дріб) – дозволяє виводити число в одному з 9 форматів.

Экспоненциальный (Експоненціальний) – відображає число у вигляді aEb , де a – мантиса; b – порядок. Такий формат використовується в програмуванні для представлення чисел з плаваючою десятковою крапкою вигляду $a \times 10^b$. Наприклад, число 3.78×10^{-3} записується як 3.73E-3.

Текстовый (Текстовий) – застосування цього формату до числа дозволяє розглядати число як текст.

Добавочный (Додатковий) – дозволяє використовувати чотири додаткові формати: **Почтовый индекс** (Поштовий індекс), **Индекс+6**, **Номер телефона** та **Табельный номер**.

Все форматы (Всі формати) – ця категорія дозволяє створювати свої формати.

2.3.2. Діапазон комірок

Одним з елементів організації даних робочого аркуша є діапазон комірок. Діапазон – це прямокутна область з групою пов'язаних комірок. Особливо зручно використовувати діапазони при видаленні, переміщенні, копіюванні та друкуванні груп комірок. Комірки діапазону можуть бути об'єднані в стовпець, рядок, стовпці та рядки.

Для виділення діапазону можна використовувати такі способи:

- клацніть кутову комірку діапазону та перетягніть покажчик миші на діагонально розташовану комірку діапазону;
- клацніть кутову комірку діапазону, потім другу комірку діапазону, причому клацання на другій комірці потрібно виконати при натиснутій клавіші «Shift»;

- для виділення стовпця необхідно клацнути на букві заголовка стовпця або клацнути будь-яку комірку стовпця та натиснути клавіші «Ctrl»+ «Пробел»;
- для виділення рядка необхідно клацнути будь-яку комірку рядка та натиснути клавіші «Shift» + «Пробел»;
- виділення груп несуміжних комірок необхідно виконувати при натиснутій клавіші «Ctrl» (рис. 2.11).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									

Рис. 2.11

Висоту рядка можна легко змінювати. Для цього встановіть покажчик миші на межу між заголовками рядків, тобто між номерами рядків. Покажчик миші набуде вигляду двоспрямованої стрілки. Натисніть ліву клавішу миші і перетягніть вниз для того, щоб збільшити висоту рядка, або вгору для того, щоб зменшити висоту рядка.

Так само можна змінювати ширину стовпця. У цьому випадку покажчик миші слід встановити між заголовками стовпців, тобто між буквами А, В, С,.... Натиснути ліву клавішу миші та перетягнути вправо або вліво для збільшення або зменшення ширини стовпця.

Можна змінити висоту рядків діапазону комірок. Для цього необхідно виділити діапазон комірок та вибрати команду **Формат – Строка - Висота** (Формат - Рядок - Висота). З'явиться діалогове вікно (Висота строки) **Висота рядка** (рис. 2.12), в якому задати висоту рядка та натиснути клавішу ОК.

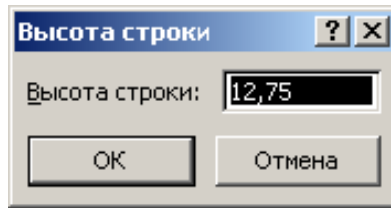


Рис. 2.12

Для зміни ширини рядків діапазону комірок необхідно виділити діапазон та вибрати команду **Формат – Столбец (Столбець) – Ширина**. З'явиться діалогове вікно **Ширина столбца (Ширина стовпця)** (рис. 2.13), в якому задати ширину стовпця та натиснути клавішу ОК.

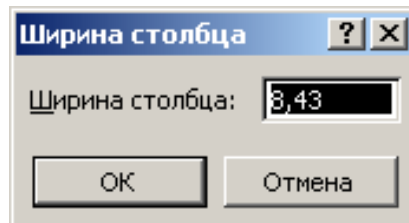






Рис. 2.13

2.3.3. Вирівнювання тексту

При створенні нового аркуша Excel вирівнює текст, що вводиться в комірку, по лівому краю. Спосіб вирівнювання тексту в комірці можна змінити за допомогою панелі інструментів **Форматирование (Форматування)**. Для цього досить виділити комірку з текстом та натиснути одну з таких кнопок:

-  – вирівнювання по лівому краю;
-  – вирівнювання по центру;
-  – вирівнювання по правому краю.

Декілька окремих комірок можна об'єднати в одну комірку. Для цього необхідно виділити діапазон комірок і натиснути

кнопку «» – **Объединить и поместить в центре** (Об'єднати і помістити в центрі).

Для вирівнювання та орієнтації тексту в комірці можна використовувати вкладку **Выравнивание** (Вирівнювання) діалогового вікна **Формат ячеек** (Формат комірок), що відкривається командою **Формат – Ячейки** (Комірки) (рис. 2.14).

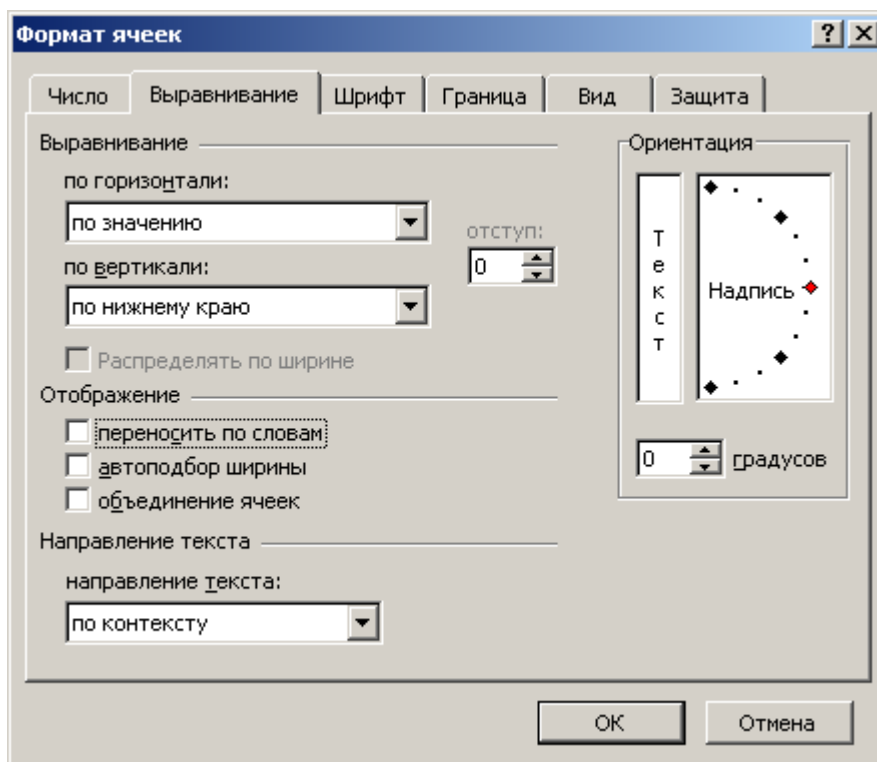
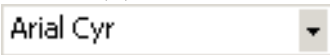
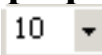



Рис. 2.14

2.3.4. Шрифти, рамки та колір фону

При створенні нового аркуша Excel використовує шрифт Arial Cyr розміром 10 пунктів. При бажанні можна змінити шрифт та розміри шрифту. Тип і розміри шрифту можна змінити за допомогою списків, що розкриваються, **Шрифт**  та **Размер шрифта** (Розмір шрифту)  панелі інструментів **Форматирование** (Форматування). Кнопки  змінюють зображення тексту на **Полужирный** (Напівжирний), **Курсив** та **Подчеркнутый** (Підкреслений).

Крім того, тип та розміри шрифту можна змінювати за допомогою вкладки **Шрифт** діалогового вікна **Формат ячеек (Формат комірок)**, що відкривається командою **Формат – Ячейки (Комірки)** (рис. 2.15). Можна додатково створити ефект закресленого шрифту, додавати тексту або числам формат верхнього чи нижнього індексу.

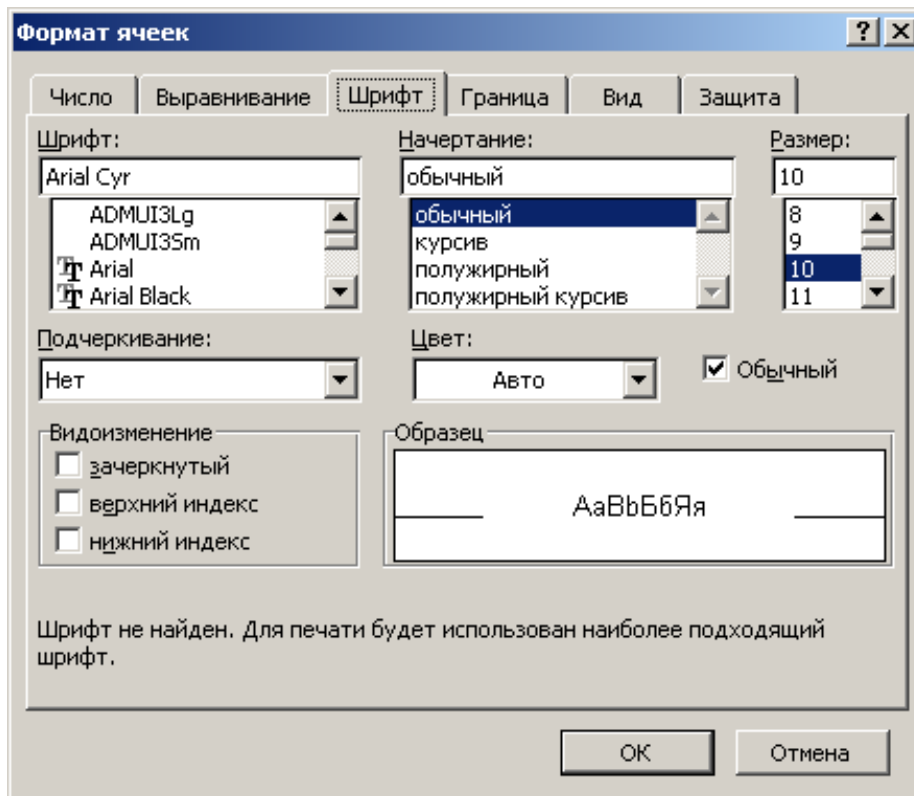



Рис. 2.15

Щоб виділити дані кольором, необхідно в рядку формул виділити фрагмент тексту та зі списку, що розкривається, **Цвет (Колір)** вибрати необхідний колір.

Для поліпшення виду аркуша Excel можна використовувати засоби форматування комірок за допомогою меж, узорів та колірної заливки.

Комірці або діапазону комірок можна встановити межі по всьому периметру або тільки по декількох сторонах. Крім того, можна вибрати декілька типів ліній.

Можна використовувати два способи додавання меж коміркам та діапазонам.

Для того щоб швидко додати межу, необхідно виділити комірку або діапазон та клацнути на кнопці  списку **Границы** (Межі). Excel відобразить палітру стилів меж (рис. 2.16).

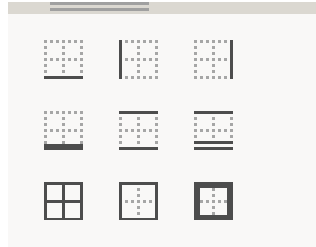


Рис. 2.16

Після цього потрібно клацнути на відповідному стилі межі. Excel застосує його до виділених комірок.

Панель інструментів **Границы** (Межі) – панель, що від'єднується: її можна переміщати по екрану як плаваючу панель. Якщо встановити покажчик миші на сірій смугі над кнопками стилів меж, він набуде вигляду двоспрямованої стрілки. Натисніть ліву кнопку миші та перемістіть панель на робочий аркуш. Щоб встановити додаткові параметри меж, використовують діалогове вікно **Формат ячеек** (Формат комірок).

Для додавання меж виконайте такі дії:

1. Виділіть комірку, що форматується, або їх діапазон.
2. У головному меню виберіть команду **Формат – Ячейки** (Комірки), щоб відкрити діалогове вікно **Формат ячеек** (Формат комірок). Клацніть на вкладці **Граница** (Межа) (рис. 2.17).
3. У області **Все** клацніть на відповідному стилі межі: **нет**, **внешние**, **внутренние** (ні, зовнішні, внутрішні).
4. У області **Линия** (Лінія) виберіть тип лінії.
5. У області **Отдельные** (Окремі) натисканням миші додайте або видаліть необхідні лінії.

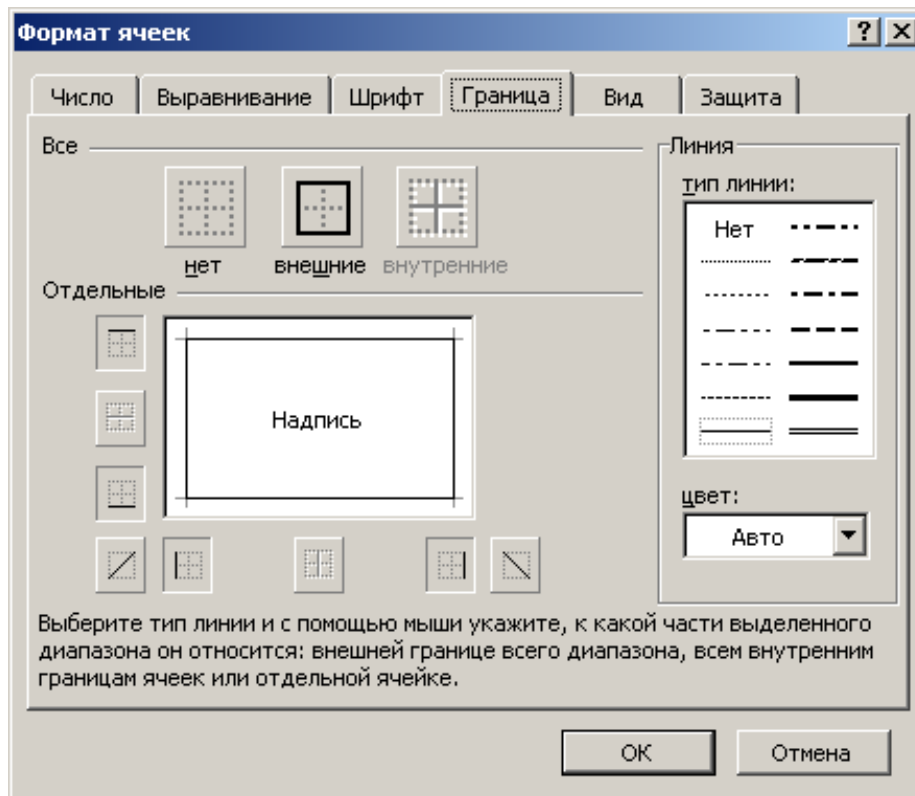


Рис. 2.17

6. Клацніть на кнопці списку, що розкривається, **цвет** (колір) та виберіть необхідний колір ліній. У області **Отдельные** (Окремі) натисканням миші вкажіть необхідні лінії.

7. Клацніть на кнопці ОК, щоб вийти з діалогового вікна Excel.

Комірки можна виділити узором або змінити колір фонові заливки.

Для додавання фоновому узору або кольору заливки можна використовувати діалогове вікно **Формат ячеек** (Формат комірок).

1. Виділити комірку або діапазон, що форматується.
2. Вибрати в головному меню команду **Формат – Ячейки** (Комірки), щоб відкрити діалогове вікно **Формат ячеек** (Формат комірок), та клацнути на вкладці **Вид** (Вигляд) (рис. 2.18).

3. Вибрати зі списку, що розкривається, **Узор** необхідний узор та проглянути його в області **Образец** (Зразок).

4. Щоб залити кольором вибраний узор, необхідно вибрати колір палітри **Цвет** (Колір).
5. Клацнути на кнопці ОК.

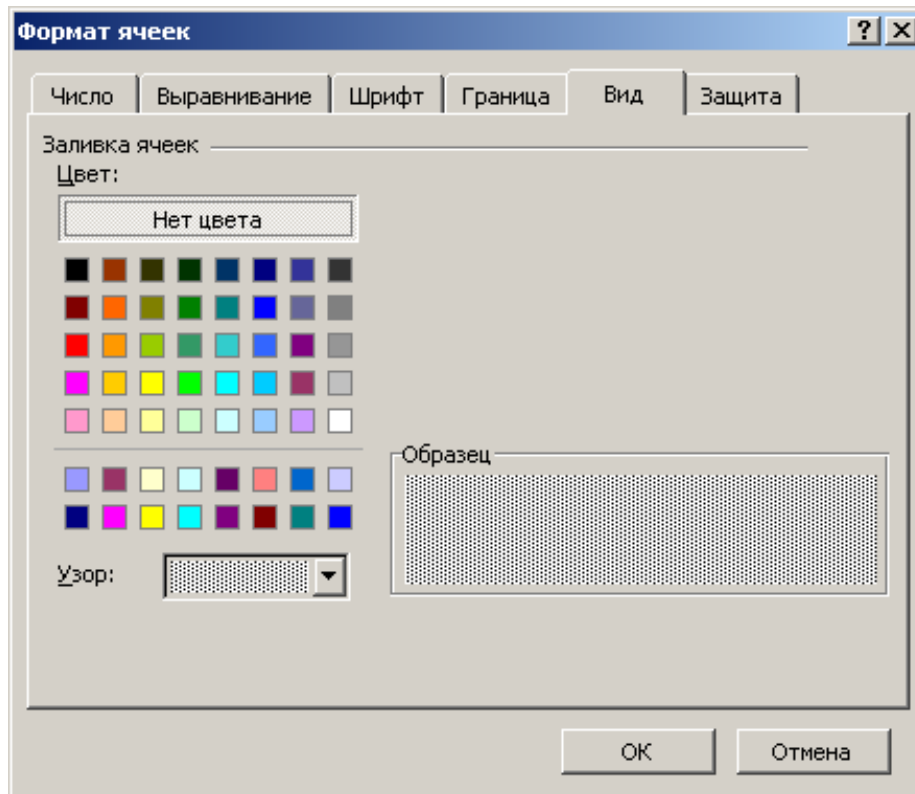



Рис. 2.18

Змінити колір заливки можна за допомогою панелі інструментів. Для цього необхідно вибрати комірку або діапазон, котрі потрібно форматувати, і клацнути на кнопці списку, що розкривається «» – **Цвет заливки** (Колір заливки). Потім клацнути на потрібному кольорі.


Можна змінювати не тільки фоновий колір комірки, але колір її вмісту. Для цього необхідно вибрати комірку, що форматується, або діапазон та клацнути на кнопці списку «» – **Цвет шрифта** (Колір шрифту). З'явиться палітра, що від'єднується, **Цвет текста** (Колір тексту) (рис. 2.19). Потім клацнути на відповідному кольорі – Excel змінить колір тексту комірки.



Рис. 2.19

2.3.5. Приклад розрахунку координат центра тяжіння перерізу

Розглянемо приклад розрахунку координат центра тяжіння поперечного перерізу, показаний на рис. 2.20.

Розроблення документа почнемо зі створення заголовка. Введемо в комірку A1 такий текст: «Розрахунок координат центра тяжіння».

У комірки A2:H2 введемо заголовки стовпців таблиці:

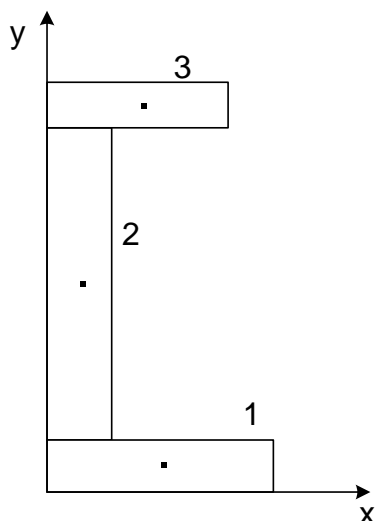


Рис. 2.20

- елемент;
- ширина;
- висота;
- координата x_i елемента;
- координата y_i елемента;
- площа елемента;
- статичний момент S_y елемента;
- статичний момент S_x елемента.

У комірки A3:C5 введемо дані, як показано на рис. 2.21. На перший погляд може здатися, що в комірку вводиться не весь текст. Насправді це не так. Весь текст не видно через обмежені розміри комірки. Якщо клацнути лівою клавiшею миші, наприклад, по комірці D2, то в рядку формул можна побачити текст, що знаходиться в цій комірці.

Введемо формули:

у комірку D3

=B3/2;

у комірку D4

=B3/2;

у комірку D5

=B5/2.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Пример25_06_2007'. The active cell is D2, containing the formula 'Координата хі елемента'. The spreadsheet has the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Расчет координат центра тяжести									
2	Элемент	Ширина	Высота	Координата	Координата	Площадь	Статическ	Стрлический момент		
3	1	7	2	3,5	1	14	49	14		
4	2	2	10	1	7	20	20	140		
5	3	8	5	4	14,5	40	160	580		
6						74	229	734		
7										
8				Координаты центра тяжести: x0=				3,094595		
9							y0=	9,918919		
10										
11										
12										
13										
14										
15										

Рис. 2.21

У комірки E3:E5 введемо такі формули:

=C3/2;

=C3+C4/2;

=C3+C4+C5/2.

Ці формули забезпечують цілісність перерізу при зміні висоти елемента в процесі виконання розрахунку різних варіантів перерізу.

Розрахунок значень площі елементів у комірках F3:F5 виконується за формулами

$$=B3*C3;$$

$$=B4*C4;$$

$$=B5*C5.$$

Статичний момент S_{yi} елемента в комірках G3:G5 обчислюється за формулами

$$=F3*D3;$$

$$=F43*D4;$$

$$=F5*D5.$$

Статичний момент S_{xi} елемента в комірках H3:H5 обчислюється за формулами

$$=F3*E3;$$

$$=F4*E4;$$

$$=F5*E5.$$

Для обчислення загальної площі перерізу в комірку F6 введемо формулу

$$=СУММ(F3:F5).$$

У комірках G6 та H6 обчислюється статичний момент S_y та S_x перетину за формулами

$$=СУММ(G3:G5);$$

$$=СУММ(H3:H5).$$

Координата x_0 обчислюється в комірці H8 за формулою

$$=G6/F6.$$

Координата y_0 обчислюється в комірці H9 за формулою

$$=G6/F6;$$

$$=H6/F6.$$

Введемо в комірку D8 такий текст:
Координати центра тяжіння: $x_0 =$ (вказати значення).
Нарешті, в комірку введемо

$y_0 =$ (вказати значення).

У комірку A6 введемо слово **Сумма**.

На цьому введення тексту та формул можна закінчити і приступити до форматування документа.

Розміщуватимемо таблицю на одній сторінці. Для того щоб контролювати розміри таблиці, виберемо в головному меню команду **Сервіс – Параметри** (Сервіс - Параметры) та на вкладці **Вид** (Вигляд) у вікні **авторазбитие на страницы** (авторазбиття на сторінки) встановимо прапорець (рис. 2.22).

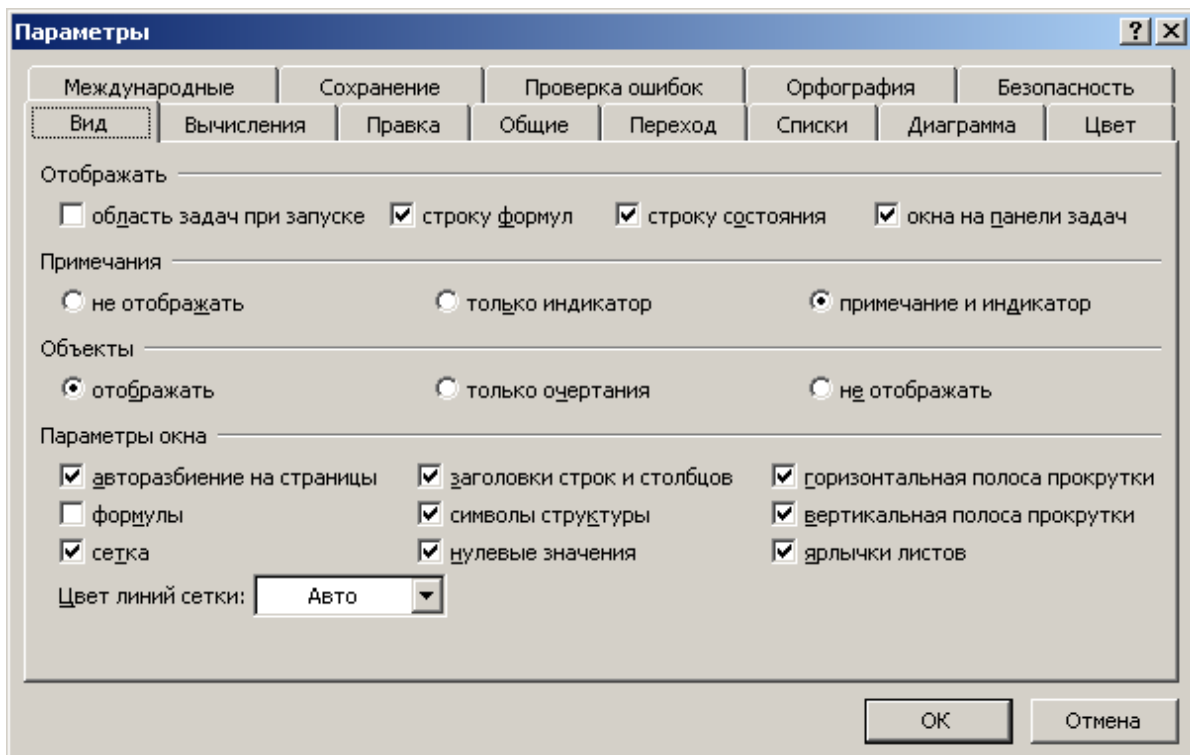


Рис. 2.22

На робочому аркуші з'явиться пунктирна лінія, що вказує на праву межу сторінки.

Виділимо діапазон комірок A1:H10 та на панелі інструментів виберемо шрифт Times New Roman розміром 11 пунктів.

Виділимо діапазон A2:H6 та на панелі інструментів виберемо команду **Формат – Ячеек (Комірок)**. У діалоговому вікні **Формат ячеек (Формат комірок)** виберемо вкладку **Выравнивание (Вирівнювання)**. У вікні **Выравнивание (Вирівнювання) по горизонтали (по горизонталі)** натиснемо на кнопку та оберемо **по центру**; у вікні **по вертикали (по вертикалі)** натиснемо на кнопку та виберемо **по центру**; у вікні **переносить по словам (переносити по словах)** встановимо прапорець (рис. 2.23).

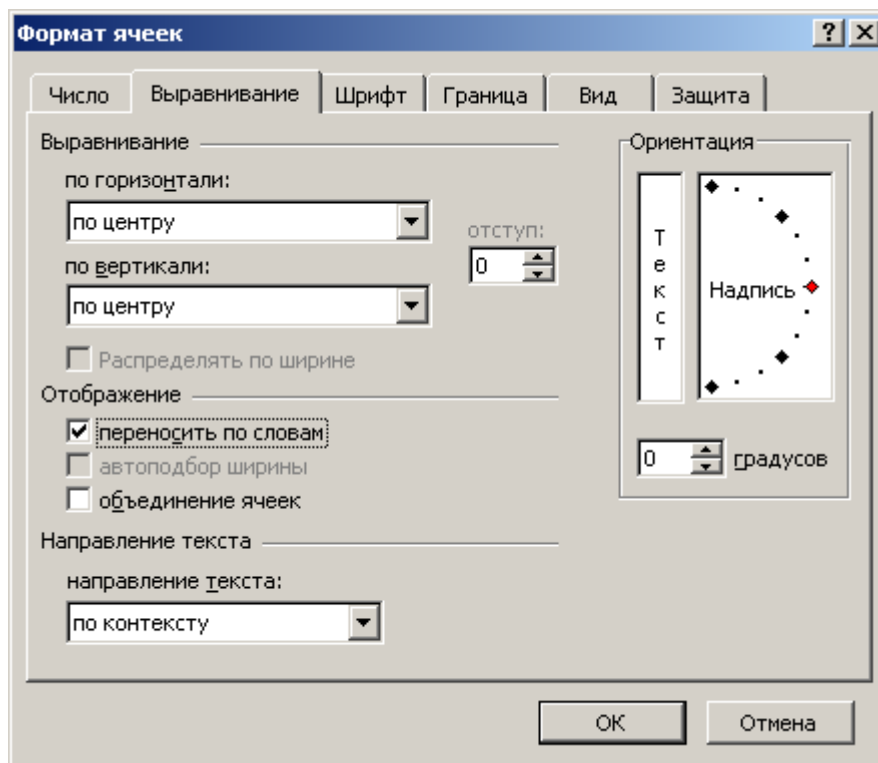




Рис. 2.23

Клацнемо на комірці D8 та в рядку формул і в слові «x0» виділимо «0». Виберемо команду **Формат – Ячейки (Формат – Комірки)** та клацнемо на вкладці **Шрифт**. У вікні **нижний индекс (нижній індекс)** встановимо прапорець . Так само форматуємо індекси в комірках D2, E2, G2, H2, G9.

Для обчислення координат достатньо двох знаків після коми. Клацнемо на комірці H8. Виберемо команду **Формат – Ячейки (Формат – Комірки)** та клацнемо на вкладці **Число**. У діалоговому вікні **Формат ячеек (Формат комірок)** виберемо

вкладку **Число** та у вікні **Числовые форматы** (Числові формати) виберемо **Числовой** (Числовий). У вікні **Число десятичных знаков** (Число десяткових знаків) за допомогою лічильника  встановимо число 2 (рис. 2.24). Так само форматуємо комірку Н9.

Виділимо діапазон Н8:Н9 та клацнемо на панелі інструментів **Форматирование** (Форматування) по кнопці «» – **По левому краю** (По лівому краю).

Виділимо діапазон комірок D8:G8. У головному меню виберемо команду **Формат - Ячейки** (Комірки) та в діалоговому вікні **Формат ячеек** (Формат комірок) виберемо вкладку **Выравнивание** (Вирівнювання). У вікні **объединение ячеек** (об'єднання комірок) встановимо прапорець .

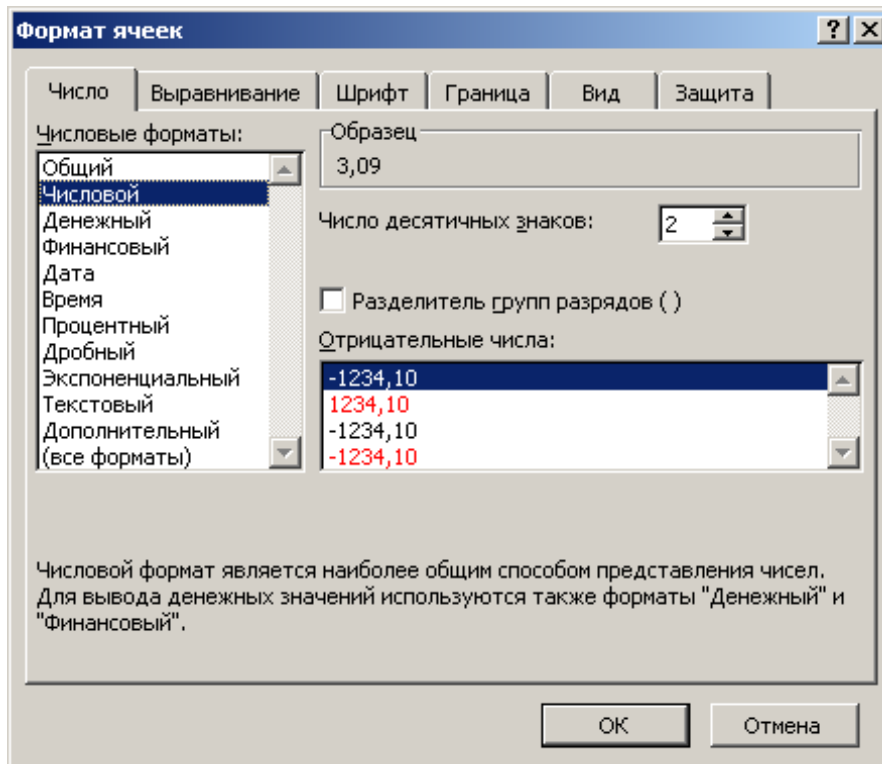







Рис. 2.24

Клацнемо на панелі інструментів **Форматирование** (Форматування) по кнопці **По правому краю** . Клацнемо на комірці G9 та форматуємо його за допомогою кнопки . Виділимо діапазон комірок A2:H6. Клацнемо на кнопці  списку

Границы (Межі) , що розкривається, та виберемо стиль **Все границы (Всі межі)** .

Виділимо діапазон A2:H2. У головному меню виберемо команду **Формат – Ячейки (Комірки)**, щоб вибрати діалогове вікно **Формат ячейки (Формат комірки)**. Клацнемо на вкладці **Границы (Межі)**. У області **Линии (Лінії)** виберемо подвійну суцільну лінію та в області **Отдельные (Окремі)** клацнемо мишею на верхній та нижній лінії (рис. 2.25). Клацнемо на кнопці **ОК** та вийдемо з діалогового вікна.

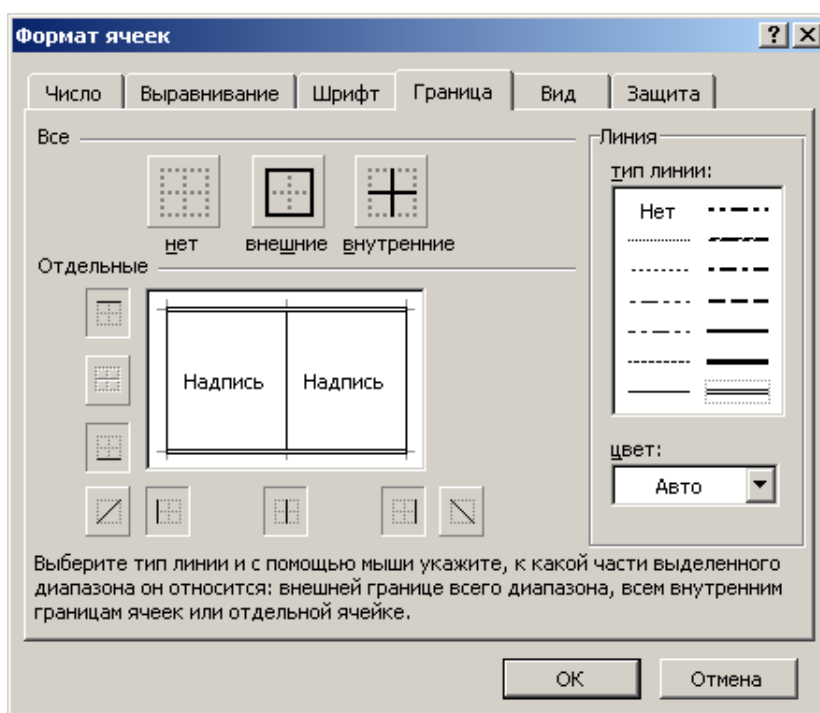



Рис. 2.25

Виділимо діапазон A1:H1 та клацнемо на кнопці **Объединить и разместить по центру (Об'єднати та розмістити в центрі)** .

Збільшимо висоту рядка заголовка таблиці. Виберемо комірку A1 та встановимо напівжирний шрифт розміром 16 пунктів.

У головному меню виберемо команду **Сервис – Параметры (Сервис – Параметри)** та на вкладці **Вид (Вигляд)** в області **Параметры окна (Параметри вікна)** знімемо прапорець у вікні **сетка (сітка)** .

Остаточний вигляд документа показаний на рис. 2.26.

Расчет координат центра тяжести

Элемент	Ширина	Высота	Координата x_i элемента	Координата y_i элемента	Площадь элемента	Статический момент S_{yi} элемента	Статический момент S_{xi} элемента
1	7	2	3,5	1	14	49	14
2	2	10	1	7	20	20	140
3	8	5	4	14,5	40	160	580
Сумма					74	229	734

Координаты центра тяжести: $x_0 = 3,09$
 $y_0 = 9,92$

Рис. 2.26

3. РОЗРАХУНОК ВАГОНІВ У СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD

3.1. Сходження пасажирського вагона з рейок

Технічний документ, як правило, містить текст та формули. За формулами виконується необхідний розрахунок. Текст необхідний для пояснення формул та результатів розрахунків.

До недавнього часу розрахунки виконувалися на калькуляторі. Mathcad дозволяє автоматизувати процес розрахунку.

Для виконання розрахунків необхідно перш за все ввести початкові дані, а саме привласнити змінним та постійним задані значення. Після цього вводиться необхідна формула. Розрахунки виконуються зліва направо і зверху вниз. Це означає, що формула

повинна знаходитися справа та знизу від введених значень. У протилежному випадку один з символів у формулі буде виділений червоним кольором та розрахунки виконуватися не будуть.

У наведеному нижче прикладі розглядається схід пасажирського вагона з рейок. Службове розслідування показало, що ковзуни візків не були змазані, як того потребують діючі інструкції. Розрахунок був виконаний для підтвердження цього припущення.

Нижче наводиться текст документа, виконаний у Mathcad.

Стійкість колеса пасажирського вагона проти сходу з рейок

Початкові дані:

Швидкість руху, м/с	$v := 10.2$	
Половина сумарного зазору між гребенем колеса та рейкою, м	$\Delta := 0.0185$	
Половина бази візка, м	$a := 1.2$	
Полярний момент інерції візка відносно шкворня, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$I_0 := 516 \cdot 10^3$	
База вагона, м	$L := 17$	
Горизонтальна жорсткість шляху, н/м	$c_y := 19.2 \cdot 10^6$	
Вага кузова, н	$P_k := 0.45 \cdot 10^6$	
Довжина колискової підвіски, м	$\xi := 0.741$	
Жорсткість коліски візка, н/м	$c_\xi := \frac{P_k}{2 \cdot \xi}$	$c_\xi = 3.036 \times 10^5$
Коефіцієнт тертя колеса по рейці	$\mu := 0.25$	
Навантаження від колеса на рейку, н	$Q := 75 \cdot 10^3$	
Маса кузова, кг	$m := 45000$	
Відстань від осі шкворня до опор кузова на візку, м	$r_0 := 1.018$	
Кут нахилу гребеня	$\beta := 60 \cdot \text{deg}$	
Вертикальне навантаження, н	$P_w := 2 \cdot Q$	$P_w = 1.5 \times 10^5$

Розглядаються два варіанти.

Варіант 1. Ковзуни покриті шаром мастила

Коефіцієнт тертя в опорах кузова на візку, $\mu_{01} := 0.05$

Максимальне значення бокової сили, що діє від колеса на рейку, Н

$$Y_{max1} := c_y \cdot \left[\frac{2 \cdot v \cdot \Delta \cdot \sqrt{a \cdot I_0}}{L \cdot \sqrt{c_y \cdot a^2 + c_\xi}} + \frac{(3 \cdot \mu \cdot Q \cdot a^2) + \mu_{01} \cdot m \cdot 9.8 \cdot r_0 \cdot a - 2 \cdot c_\xi \cdot a \cdot \frac{\Delta}{L}}{a^2 \cdot c_y + c_\xi} \right]$$

$$Y_{max1} = 1.37 \times 10^5$$

Коефіцієнт запасу стійкості колеса проти сходження з рейок,

$$k_{u1} := \frac{\tan(\beta) - \mu}{1 + \mu \cdot \tan(\beta)} \cdot \frac{P_w}{Y_{max1}} \quad k_{u1} = 1.132$$

Оскільки $k_{u1} > 1$, вкочення колеса на головку рейки здійснюватися не буде. Запас стійкості менше норми.

Варіант 2. Зміщення в ковзунах немає.

Коефіцієнт тертя в опорах кузова на візку, $\mu_{02} := 0.25$

Максимальне значення бокової сили, діючої від колеса на рейку, Н

$$Y_{max2} := c_y \cdot \left[\frac{2 \cdot v \cdot \Delta \cdot \sqrt{a \cdot I_0}}{L \cdot \sqrt{c_y \cdot a^2 + c_\xi}} + \frac{(3 \cdot \mu \cdot Q \cdot a^2) + \mu_{02} \cdot m \cdot 9.8 \cdot r_0 \cdot a - 2 \cdot c_\xi \cdot a \cdot \frac{\Delta}{L}}{a^2 \cdot c_y + c_\xi} \right]$$

$$Y_{max2} = 2.11 \times 10^5$$

Коефіцієнт запасу стійкості колеса проти сходження з рейок

$$k_{u2} := \frac{\tan(\beta) - \mu}{1 + \mu \cdot \tan(\beta)} \cdot \frac{P_w}{Y_{max2}} \quad k_{u2} = 0.735$$

Оскільки $k_u < 1$, буде відбуватися вкочення колеса на головку рейки.

Визначимо довжину шляху та час сходження колеса з рейки.

Вихідні дані:

Радіус колеса, м	$r := 0.445$
Довжина прямолінійної твірної робочої частини гребеня,	$h := 0.013$
Відстань від центра колеса до точки дотику гребеня з рейкою, м,	$r_k := 0.455$
Радіус кривої, м	$R_{kr} := 230$

Від початку кривої до дотику колеса з рейкою колісна пара пройде шлях, м

$$\lambda := \sqrt{4 \cdot R_{kr} \cdot \Delta} \quad \lambda = 4.126$$

Кут набігання колеса на рейку

$$\phi := \frac{\lambda}{R_{kr} - 2 \cdot \Delta} \quad \phi = 0.018 \text{ рад}$$

Довжина шляху сходження, м

$$l_{cx} := \frac{h \cdot r \cdot \cos(\beta)}{r_k \cdot \phi} \quad l_{cx} = 0.354$$

Час сходження, с

$$t_{cx} := \frac{h \cdot r \cdot \cos(\beta)}{v \cdot r_k \cdot \phi} \quad t_{cx} = 0.035$$

Висновок: при заданих параметрах вагона, рейкового шляху, умови руху та відсутності мастила в опорах кузова може статися сходження візка з рейок.

3.2. Стійкість вагона від вижимання повздовжніми силами

Розрахунок на стійкість від вижимання повздовжніми силами, що виникають при гальмуванні поїзда, завжди проводиться при проектуванні вагона. Методика розрахунку встановлюється Нормами для розрахунку і проектування вагонів [6], що періодично уточнюються.

У процесі удосконалення конструкції при розробленні чергової моделі вагона розрахунок необхідно проводити за цією методикою для нових вихідних даних.

Для того щоб змінити значення змінної, достатньо його виділити та ввести нові значення. Після цього потрібно клацнути мишею на вільному місці робочого аркуша. У Mathcad документ буде одразу перерахований. Таким чином можна відредагувати всі необхідні дані.

Стійкість піввагона від вижимання повздовжніми силами, що виникають при гальмуванні поїзда

Початкові дані:

- повздовжня стискаюча сила в поїзді:

для порожнього вагона, Мн

$$N_i := 0.5$$

для навантаженого вагона, Мн

$$N_{a\delta} := 1$$

- кут твірної прямолінійної частини гребеня колеса, град $\beta := 60$

- коефіцієнт тертя гребеня об головки рейки

$$\mu := 0.25$$

- половина відстані між упорними плитами

$$L := \frac{11.806}{2} \quad L = 5.903$$

- половина бази вагона, м

$$l := \frac{8.650}{2} \quad l = 4.325$$

- половина довжини вагона по осях зчеплення, м

$$L_c := \frac{13.92}{2} \quad L_c = 6.96$$

- половина відстані між кругами кочення коліс для колії 1.520

$$s := \frac{1.58}{2} \quad s = 0.79$$

- горизонтальна жорсткість ресорного підвішування одного візка, Мн/м $c_{\tilde{a}} := 9.54$
- висота осі автозчеплення над рівнем головки рейки, м $h_{\tilde{o}} := 1.06$
- половина повного поперечного розбігу рами вагона відносно осі колії в перерізі по п'ятнику $\delta_0 := 0.05$
- довжина корпуса автозчеплення, м $a := 1$
- вертикальна жорсткість ресорного підвішування одного візка, Мн/м $c_{\hat{a}} := 7.88$
- різниця рівнів осей автозчепів у з'єднанні двох вагонів, м $\Delta h := 0.1$
- радіус кривої, м $R := 250$
- половина ваги тари вагона, Мн $P_{\tilde{o}\tilde{n}\tilde{o}} := \frac{0.2233}{2}$ $P_{\tilde{o}\tilde{n}\tilde{o}} = 0.112$
- висота робочої площини п'ятника над рівнем головки рейки (під вантажем), м $h_{\tilde{v}} := 0.7503$
- статичний прогин ресорного комплекту візка (під вантажем), м $f := 0.0527$
- висота робочої площини п'ятника візка над рівнем головки рейки у вільному стані, м $h_{\tilde{n}\hat{a}} := 0.803$
- прогин ресорного комплекту візка від тари, м $f_1 := 0.01$

Висота робочої площини п'ятника візка над рівнем головки рейки у вільному стані, м

$$h_{\tilde{v}1} := h_{\tilde{n}\hat{a}} - f_1 \quad h_{\tilde{v}1} = 0.793$$

Продольна критична сила, що призводить до відносного перекосу вагонів та осей зчеплення у плані, Мн

$$N_{ka} := \frac{c_{\tilde{a}} \cdot \tilde{l}^2}{1 + \frac{\tilde{l}}{a}} \quad N_{ka} = 4.379$$

$$N_{kb} := a \cdot c_{\tilde{a}} \quad N_{kb} = 9.54$$

Вертикальне навантаження від візка на рейки, що враховує розвантаження під дією повздовжньої сили

Для порожнього вагона (при $N := 0.5$ $P_{\tilde{o}\tilde{n}\tilde{o}} = 0.112$)

$$P_{t\ddot{i}} := P_{\delta\ddot{n}\delta} - \frac{\frac{N \cdot \Delta h}{2 \cdot a} \cdot \left(\frac{L+l}{2 \cdot l^2} - \frac{L}{L} \cdot \frac{1}{1 - \frac{c_{\hat{a}} \cdot l^2}{N \cdot L}} \right)}{1 - \frac{N}{2 \cdot a \cdot c_{\hat{a}}} \cdot \left(1 + \frac{L^2}{l^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{N \cdot L}{c_{\hat{a}} \cdot l^2}} \right)} \quad P_{t\ddot{i}} = 0.104$$

Коефіцієнти

$$\alpha_n := \frac{1 - \frac{N}{N_{ka}}}{1 - \frac{N}{N_{kb}}} \quad \gamma_n := \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{ka}}} \quad \alpha_n = 0.935 \quad \gamma_n = 1.129$$

Для навантаженого вагона ($N := 1$ $P_{\tilde{a}\tilde{n}\delta} := 0.465$)

$$P_{t\tilde{a}} := P_{\tilde{a}\tilde{n}\delta} - \frac{\frac{N \cdot \Delta h}{2 \cdot a} \cdot \left(\frac{L+l}{2 \cdot l^2} - \frac{L}{L} \cdot \frac{1}{1 - \frac{c_{\hat{a}} \cdot l^2}{N \cdot L}} \right)}{1 - \frac{N}{2 \cdot a \cdot c_{\hat{a}}} \cdot \left(1 + \frac{L^2}{l^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{N \cdot L}{c_{\hat{a}} \cdot l^2}} \right)} \quad P_{t\tilde{a}} = 0.446$$

Коефіцієнти

$$\alpha_{\tilde{a}} := \frac{1 - \frac{N}{N_{ka}}}{1 - \frac{N}{N_{kb}}} \quad \gamma_{\tilde{a}} := \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{ka}}} \quad \alpha_{\tilde{a}} = 0.862 \quad \gamma_{\tilde{a}} = 1.296$$

$$\beta_r := \frac{\pi \cdot \beta}{180} \quad \text{переведення градусів у радіани}$$

Установка I. Набігаюче колесо вкочується на зовнішню рейку.
Для порожнього вагона при дії повздовжньої сили $N := 0.5$ Мн

$$A := P_{t\ddot{i}} + \gamma_n \cdot N \cdot \left[\left[\frac{\delta_0 \cdot L}{l^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_{\dot{i}}}{h_{\ddot{o}}} \right] + \alpha_n \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_{\ddot{o}}}{s}$$

$$B := P_{t\ddot{i}} \cdot \mu + 2 \cdot \gamma_n \cdot N \cdot \left[\left[\frac{\delta_0 \cdot L}{l^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) + \alpha_n \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{\ddot{o}}}{2 \cdot s} \right) - \alpha_n \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \frac{(h_{\ddot{o}} - h_{i1})}{2 \cdot s} \right]$$

Коефіцієнт запасу стійкості

$$k_{\phi} := \frac{\tan\left(\frac{\pi \cdot \beta}{180}\right) - \mu}{1 + \mu \cdot \tan\left(\frac{\pi \cdot \beta}{180}\right)} \cdot \frac{A}{B}$$

$$k_{\phi} = 1.272$$

Для навантаженого вагона при дії повздовжньої сили $N := 1$ Мн

$$A := P_{t\ddot{a}} + \gamma_{\ddot{a}} N \cdot \left[\left[\frac{\delta_0 \cdot L}{l^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_{\dot{i}}}{h_{\ddot{o}}} \right] + \alpha_{\ddot{a}} \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_{\ddot{o}}}{s}$$

$$B := P_{t\ddot{a}} \mu + 2 \cdot \gamma_{\ddot{a}} N \cdot \left[\left[\frac{\delta_0 \cdot L}{l^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) + \alpha_{\ddot{a}} \frac{L_c}{R} \right] \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{\ddot{o}}}{2 \cdot s} \right) - \alpha_{\ddot{a}} \frac{L_c}{R} \cdot \frac{(h_{\ddot{o}} - h_{i1})}{2 \cdot s} \right]$$

Коефіцієнт запасу стійкості

$$k_{\phi} := \frac{\tan\left(\frac{\pi \cdot \beta}{180}\right) - \mu}{1 + \mu \cdot \tan\left(\frac{\pi \cdot \beta}{180}\right)} \cdot \frac{A}{B}$$

$$k_{\phi} = 1.658$$

Установка II. Набігаюче колесо вкочується на внутрішню рейку.

Для порожнього вагона при дії повздовжньої сили $N := 0.5$ Мн

$$A := P_{t\ddot{i}} + \gamma_n \cdot N \cdot \left[\left[\frac{\delta_0 \cdot L}{l^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_{\dot{i}}}{h_{\ddot{o}}} \right] - \left(\alpha_n \cdot \frac{L_c}{R} \right) \right] \cdot \frac{h_{\ddot{o}}}{s}$$

$$B := P_{t\ddot{i}} \cdot \mu + 2 \cdot \gamma_n \cdot N \cdot \left[\left[\frac{\delta_0 \cdot L}{l^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) - \frac{L_c}{R} - \alpha_n \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \left[1 + \mu \cdot \frac{h_{\ddot{o}}}{2 \cdot s} + \alpha_n \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \frac{(h_{\ddot{o}} - h_{i1})}{2 \cdot s} \right] \right]$$

Коефіцієнт запасу стійкості

$$k_{\phi} := \frac{\tan\left(\frac{\pi \cdot \beta}{180}\right) - \mu}{1 + \mu \cdot \tan\left(\frac{\pi \cdot \beta}{180}\right)} \cdot \frac{A}{B} \quad k_{\phi} = 1.49$$

Для навантаженого вагона при дії повздовжньої сили $N := 1$ МН

$$A := P_{t\tilde{a}} + \gamma_{\tilde{a}} N \cdot \left[\left[\frac{\delta_0 \cdot L}{l^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a}\right) \cdot \frac{h_{\dot{v}}}{h_{\ddot{o}}} \right] + \alpha_{\tilde{a}} \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_{\ddot{o}}}{s}$$

$$B := P_{t\tilde{a}} \mu + 2 \cdot \gamma_{\tilde{a}} N \cdot \left[\left[\frac{\delta_0 \cdot L}{l^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a}\right) + \alpha_{\tilde{a}} \frac{L_c}{R} \right] \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{\ddot{o}}}{2 \cdot s}\right) - \alpha_{\tilde{a}} \frac{L_c}{R} \cdot \frac{(h_{\ddot{o}} - h_{\dot{v}I})}{2 \cdot s} \right]$$

Коефіцієнт запасу стійкості

$$k_{\phi} := \frac{\tan\left(\frac{\pi \cdot \beta}{180}\right) - \mu}{1 + \mu \cdot \tan\left(\frac{\pi \cdot \beta}{180}\right)} \cdot \frac{A}{B} \quad k_{\phi} = 1.658$$

3.3. Стійкість візка вантажного вагона від сходження з рейок

У розглянутому нижче прикладі доводиться розв'язувати систему нелінійних рівнянь. У цьому випадку використовується спеціальний розрахунковий блок, котрий відкривається службовим словом–директивою **Given** та має таку структуру:

Given

Рівняння

Обмежувальні умови

Вирази с функціями **Find** та **Minerr**.

Рекомендується доповнити блок перевіркою рішення.

У даному прикладі використовується функція **Find**, котра має такий формат:

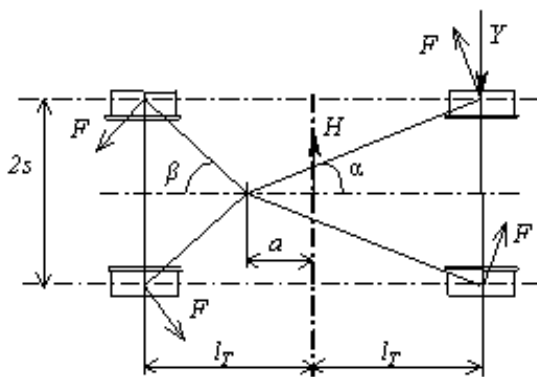
Find(x_1, x_2, \dots, x_n).

Змінні, що потрібно знайти, x_1, x_2, \dots, x_n мають бути представлені у вигляді вектора – стовпця.

Наведемо текст Mathcad – документа.

Стійкість візка проти сходження з рейок (рис. 3.1).

При русі по кривій візок безперервно обертається навкруг полюса оберту. Виникаючий при цьому момент горизонтальних поперечних сил, прикладених до шкворня відносно полюса оберту, врівноважується поперечними силами тертя коліс по рейках та направляючих зусиллях.



Позначення:

- F - сила тертя між колесом та рейкою;
- a, b - кути (див. рисунок);
- $2s$ - відстань між кругами кочення коліс;
- $2l_T$ - база візка;
- Y - направляюче зусилля;
- H - бокове навантаження на п'ятник;
- a - відстань від полюса оберту до середини бази візка.

Рис. 3.1

Рівняння рівноваги візка при русі по кривій мають такий вигляд [1]:

$$2F(\cos\beta - \cos\alpha) + Y - H = 0;$$

$$2F[2l_T \cos\beta + s(\sin\beta + \sin\alpha)] - Hl_T = 0.$$

Вихідні дані:

- швидкість руху вагона, м/с $v := 15.9$
- радіус колеса, м $r := 0.4335$
- радіус кривої дільниці, м $R := 637$
- підвищення зовнішньої рейки, м $h_p := 0.1$
- половина відстані між кругами кочення коліс, м $s := 0.7775$
- половина відстані між серединами шийок осі, м $b := 1.018$
- вага вагона брутто, кН $P_{br} := 240$

- половина бази візка, м $l_t := 0.925$
- коефіцієнт тертя колеса по рейці $\mu := 0.25$
- кут нахилу твірної гребеня до горизонталі, градус. . . . $\beta_{gg} := 60$
- швидкість вітру, м/с $v_w := 2.5$
- число осей вагона $n := 4$
- сила тяжіння колісної пари, кН $q_k := 14$
- "вітрова" площа кузова вагона, м² $F_w := 26$
- "вітрова" площа візка, м² $F_t := 2.66$
- вага візка, кН $P_t := 47$
- відстань від точки контакту до середини шийки, м $a_1 := 0.264$
- те саме для другого колеса $a_2 := 0.217$

Розрахунок горизонтальних сил

Вага кузова с вантажем, кН $P_k := P_{br} - 2 \cdot P_t$ $P_k = 146$

Відцентрова сила кузова з урахуванням підвищення зовнішньої

рейки, кН $H_k := P_k \cdot \left(\frac{v^2}{9.8 \cdot R} - \frac{h_p}{2 \cdot s} \right)$ $H_k = -3.476$

Відцентрова сила візка з урахуванням підвищення зовнішньої

рейки, кН $H_t := P_t \cdot \left(\frac{v^2}{9.8 \cdot R} - \frac{h_p}{2 \cdot s} \right)$ $H_t = -1.119$

Вітрове навантаження на кузов, кН

$W_k := \text{if}(v_w \leq 10, 0, 0.5 \cdot F_w)$ $W_k = 0$

Вітрове навантаження на візок, кН

$W_t := \text{if}(v_w \leq 10, 0, 0.5 \cdot F_t)$ $W_t = 0$

Підсумкова горизонтальна поперечна сила, що припадає на один

візок, кН $H := \frac{(H_k + H_t)}{2} + W_k + W_t$ $H = -2.298$

Розрахунок направляючої та рамної сил

Вертикальне статичне навантаження колеса на рейку, кН

$$V_{br} := \frac{P_{br}}{2 \cdot n} \quad V_{br} = 30$$

Сила тертя між колесом та рейкою, кН $F := \mu \cdot V_{br} \quad F = 7.5$

У рівняння рівноваги візка входять дві невідомі: направляюче зусилля Y та величина a , що визначає положення полюса оберту візка. Вирази для $\sin\alpha$, $\sin\beta$, $\cos\alpha$ та $\cos\beta$ залежать від s , l_t , a і можуть бути легко отримані (рис. 3.1).

Ці рівняння можна розв'язати одним з чисельних методів.

$$a := 0 \quad Y := 0$$

Given

$$2 \cdot F \cdot \left[\frac{l_t - a}{\sqrt{s^2 + (l_t - a)^2}} - \frac{l_t + a}{\sqrt{s^2 + (l_t + a)^2}} \right] + Y - H = 0$$

$$2 \cdot F \cdot \left[2 \cdot l_t \cdot \frac{l_t - a}{\sqrt{s^2 + (l_t - a)^2}} + s \cdot \left[\frac{s}{\sqrt{s^2 + (l_t - a)^2}} + \frac{s}{\sqrt{s^2 + (l_t + a)^2}} \right] \right] - H \cdot l_t = 0$$

$$\begin{pmatrix} a \\ Y \end{pmatrix} := \text{Find}(a, Y) \quad \begin{pmatrix} a \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.446 \\ 20.306 \end{pmatrix}$$

Перевірка рішення:

$$2 \cdot F \cdot \left[2 \cdot l_t \cdot \frac{l_t - a}{\sqrt{s^2 + (l_t - a)^2}} + s \cdot \left[\frac{s}{\sqrt{s^2 + (l_t - a)^2}} + \frac{s}{\sqrt{s^2 + (l_t + a)^2}} \right] \right] - H \cdot l_t = \blacksquare$$

$$2 \cdot F \cdot \left[\frac{l_t - a}{\sqrt{s^2 + (l_t - a)^2}} - \frac{l_t + a}{\sqrt{s^2 + (l_t + a)^2}} \right] + Y - H = \blacksquare$$

Сила тертя між колесом та рейкою, кН

$$\cos\alpha := \frac{l_t + z0}{\sqrt{s^2 + (l_t + z0)^2}} \quad \cos\alpha = 0.95$$

Рамне зусилля, кН

$$Fram := Y_0 - 2 \cdot F \cdot \cos \alpha \quad Fram = 6.052$$

Розрахунок вертикального та бокового навантажень на колесо, що набігає

Середнє значення коефіцієнта вертикальної динаміки

$$kd1(v) := \frac{0.1 \cdot v}{15} \quad kd2(v) := 0.1 + 3.6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{(v - 15)}{0.049}$$

$$k_{dvs}(v) := \text{if}(v < 15, kd1(v), kd2(v)) \quad k_{dvs}(v) = 0.107$$

Розрахункове значення коефіцієнта вертикальної динаміки екіпажу

$$kdv := 0.75 \cdot k_{dvs}(v) \quad kdv = 0.08$$

Розрахункове значення коефіцієнта динаміки бокового хитання

$$kdb := 0.25 \cdot k_{dvs}(v) \quad kdb = 0.027$$

Вертикальне статичне навантаження на шийку осі, кН

$$Q_{st} := V_{br} - \frac{q_k}{2} \quad Q_{st} = 23$$

Вертикальне навантаження від колеса, що набігає, на рейку з урахуванням перерозподілу реакцій від дії на колісну пару як вертикальних, так і бокових сил, кН

$$P1 := 2 \cdot Q_{st} \cdot \left[\frac{(b - a2) \cdot (1 - kdv)}{2 \cdot s} \right] - \left(2 \cdot Q_{st} \cdot \frac{b \cdot kdb}{2 \cdot s} \right) + \left(Fram \cdot \frac{r}{2 \cdot s} \right) + q_k \cdot \frac{(b - a2)}{2 \cdot s}$$

$$P1 = 29.897$$

Вертикальна складова сили реакції колеса, що набігає, кН

$$P2 := \left[2 \cdot Q_{st} \cdot \left[\frac{(b - a1) \cdot (1 - kdv)}{2 \cdot s} \right] - 2 \cdot Q_{st} \cdot \frac{b \cdot kdb}{2 \cdot s} \right] - \left(Fram \cdot \frac{r}{2 \cdot s} \right) + q_k \cdot \frac{(b - a1)}{2 \cdot s}$$

$$P2 = 24.82$$

Боковий тиск колеса, що набігає, на рейку, кН

$$P_b := Fram + \mu \cdot P2 \quad P_b = 12.257$$

Коефіцієнт запасу стійкості

Коефіцієнт запасу стійкості колеса проти сходження з рейок

$$\beta_{gr} := \pi \cdot \frac{\beta_{gg}}{180} \quad k_u := \left[\frac{(\tan(\beta_{gr}) - \mu)}{1 + \mu \cdot \tan(\beta_{gr})} \right] \cdot \left(\frac{P1}{P_b} \right) \quad k_u = 2.523$$

Коефіцієнт запасу стійкості колісної пари від сходження з рейок має бути не менше нормованої величини, що дорівнює 2.0 для пасажирських вагонів, 1.7 – для ізотермічних та 1.5 – для вантажних вагонів.

3.4. Вписування вагона в габарит

Вписування вагона в габарит завжди виконується при проектуванні вагона. Конструкторському відділу вагонобудівного заводу бажано мати програму, котра після незначного редагування дозволить виконати розрахунок вписування в габарит будь-якого вагона.

Коефіцієнти k , k_1 , k_2 , k_3 містяться в матриці *koef* та автоматично обираються в залежності від типу прийнятого габариту. Їх значення виведені для більшої наочності та контролю.

Для розрахунку обмежень E_0 , E_n та E_v використовується умовний оператор *if*. Наприклад, фрагмент програми

$$\Delta K1 := \begin{cases} k_1 - k_3 & \text{if } k_1 - k_3 > 0 \\ 0 & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases} \quad \Delta K1 = 0$$

виконує такі дії:

якщо $k_1 - k_3 > 0$, то $\Delta K1 = k_1 - k_3$;
якщо $|k_1 - k_3| > 0$, то $\Delta K1 = 0$.

У результаті цих дій програмний модуль обирає $\Delta K1 = 0$.

Вписування в габарит думпкара вантажопідйомністю 136 т

Думпкар на візках з підшипниками кочення вписується в габарит виходячи з умови розміщення на ньому блоків стрілочних переводів.

Вихідні дані

Тара думпкара, т $T := 71$

Половина бази думпкара, м $l := 5.250$

Довжина консолі, м $n_k := 3.175$

База чотиривісного візка, м $p_0 := 3.010$

База двовісного візка, м $p_1 := 1.850$

Для чотиривісного візка приймається $p := \sqrt{p_0^2 + p_1^2}$

Гнучкість ресорного підвішування двовісного візка $\lambda := 0.656$

Умовні типи габаритів:

1 - $T, T_\psi, T_{np}, 1-T$;

2 - $1-VM$ точки 1-11;

3 - $1-VM$ інші точки;

4 - $0-VM$ точки 1-11;

5 - $0-VM$ інші точки;

6 - $02-VM$ точки 1-8;

7 - $02-VM$ інші точки;

8 - $03-VM$ точки 1-5;

9 - $03-VM$ інші точки.

Введіть номер типу габариту: $ntg := 1$.

Значення коефіцієнтів k, k_1, k_2, k_3 , котрі входять у формули для розрахунку будівельних розмірів вагона, автоматично обираються з матриці

$$koef := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 25 & 75 & 25 & 75 & 25 & 75 & 25 \\ 0.625 \cdot p^2 & 0.625 \cdot p^2 & 0.625 \cdot p^2 & 0.625 \cdot p^2 & 0.625 \cdot p^2 & 0.5 \cdot p^2 & 0.5 \cdot p^2 & 0.5 \cdot p^2 & 0.5 \cdot p^2 \\ 2.5 & 2.5 & 2.5 & 2.5 & 2.5 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 180 & 180 & 180 & 180 & 180 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Коефіцієнти

$$\begin{aligned} k &:= koef_{1,ntg} & koef_{1,ntg} &= 0 \\ k_1 &:= koef_{2,ntg} & koef_{2,ntg} &= 7.802 \\ k_2 &:= koef_{3,ntg} & koef_{3,ntg} &= 2.5 \\ k_3 &:= koef_{4,ntg} & koef_{4,ntg} &= 180 \end{aligned}$$

Максимальні допустимі розміри будівельного обрису вагона

Вертикальні розміри габариту рухомого складу зверху є одночасно і тими максимальними будівельними розмірами, котрі може мати рухомий склад, що проектується, по висоті в ненавантаженому стані.

Найменші допустимі вертикальні розміри рухомого складу, що проектується, знизу виходить шляхом збільшення відповідних вертикальних розмірів габариту на величину ймовірного в експлуатації статичного паралельного зниження рухомого складу внаслідок максимального нормованого зносу ходових частин, а для обресорених деталей ще внаслідок рівномірної осадки ресор.

Максимально допустимі горизонтальні будівельні розміри рухомого складу виходять шляхом зменшення поперечних розмірів відповідного габариту рухомого складу з кожного боку на величини обмежень E_0, E_v, E_n .

Мінімальна відстань між зовнішніми гранями гранично зношених гребенів коліс, мм

$$d := 1440 - 3$$

Обмеження E_0 , $E_в$ та E_H півширини вагона

Максимальна ширина колії у прямій, мм

$$S_{np} := 1526$$

Максимальна ширина колії у кривій розрахункового радіуса, мм

$$S_{кр} := 1541$$

Мінімальна відстань між зовнішніми гранями гранично зношених гребенів коліс, мм

$$d := 1489$$

Найбільше ймовірне поперечне переміщення в направляючому перерізі з центрального положення в один бік рами візка відносно колісної пари внаслідок зазорів при максимальних зношеннях у буксовому вузлі

$$q := 3$$

Найбільше ймовірне поперечне переміщення в направляючому перерізі з центрального положення в один бік кузова відносно рами візка внаслідок зазорів при максимальних зношеннях у буксовому вузлі $w := 32$

При проектуванні рухомого складу за габаритом 1-Т ГОСТ 9238-83 значення окремих величин, що входять у формули для знаходження E_0 , $E_в$, E_H , приймаються наступними.

Величину максимального бокового зміщення гранично зношеної колісної пари в розрахунковій кривій радіусом 200 м приймають рівною

$$sdr := 0.5 \cdot (S_{кр} - d),$$

а в прямій

$$sdp := 0.5 \cdot (S_{np} - d).$$

Величини додаткових обмежень α та β для габариту 1-Т дорівнюють нулю.

Обмеження E_0 , $E_в$ та E_H для кузова вагона

За формулами (2), (3), (3') та (4), наведеними в п. 2.14 "Вказівок з застосування габаритів рухомого складу", визначаємо обмеження півширини кузова думпкара в поперечних перерізах: направляючому E_0 , середньому (по середині бази вагона) – E_c , у місці постановки циліндрів, ближчих до середини вагона – $E_{цс}$, у місці постановки циліндрів, віддалених від середини вагона, – $E_{цд}$, у місці постановки гальмівного циліндра – E_T , у консольних по кінцевих балках – E_K .

1. Для всіх точок верхнього обрису:

а) для направляючого перерізу

$$\Delta K1 := \begin{cases} k_1 - k_3 & \text{if } k_1 - k_3 > 0 \\ 0 & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases} \quad \Delta K1 = 0$$

$$Sd1 := \begin{cases} sdr & \text{if } k_1 - k_3 > 0 \\ sdp & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases} \quad Sd1 = 18.5$$

Обмеження півширини для направляючого перерізу кузова, мм

$$E_0 := Sd1 + q + w + \Delta K1 \quad E_0 = 53.5$$

б) для внутрішнього перерізу, розміщеного посередині бази,

$$n_c := 6.035$$

$$\Delta K2 := \begin{cases} [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_c) + (k_1 - k_3)] & \text{if } [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_c) + (k_1 - k_3)] > 0 \\ 0 & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta K2 = 0$$

$$Sd2 := \begin{cases} sdr & \text{if } [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_c) + (k_1 - k_3)] > 0 \\ sdp & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases} \quad Sd2 = 18.5$$

Обмеження півширини для внутрішнього перерізу, розміщеного посередині бази,

$$E_{bc} := Sd2 + q + w + \Delta K2 \quad E_{bc} = 53.5$$

в) у перерізі постановки циліндрів, ближчих до середини вагона,

$$n_{uc} := 4.560$$

$$\Delta K2 := \begin{cases} [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{uc}) + (k_1 - k_3)] & \text{if } [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{uc}) + (k_1 - k_3)] > 0 \\ 0 & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta K2 = 0$$

$$Sd2 := \begin{cases} sdr & \text{if } [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{uc}) + (k_1 - k_3)] > 0 \\ sdp & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases} \quad Sd2 = 18.5$$

Обмеження півширини

$$E_{вuc} := Sd2 + q + w + \Delta K2 \quad E_{вuc} = 53.5$$

г) у перерізі постановки циліндрів, більш віддалених від середини вагона,

$$n_{ud} := 3.55$$

$$\Delta K2\partial := \begin{cases} [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{ud}) + (k_1 - k_3)] & \text{if } [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{ud}) + (k_1 - k_3)] > 0 \\ 0 & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta K2 = 0$$

$$Sd2 := \begin{cases} sdr & \text{if } [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{ud}) + (k_1 - k_3)] > 0 \\ sdp & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases} \quad Sd2 = 18.5$$

Обмеження півширини

$$E_{вud} := Sd2 + q + w + \Delta K2\partial \quad E_{вud} = 53.5$$

д) у місці постановки гальмівного циліндра

$$n_{um} := 1.995$$

$$\Delta K2 := \begin{cases} [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{um}) + (k_1 - k_3)] & \text{if } [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{um}) + (k_1 - k_3)] > 0 \\ 0 & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta K2 = 0$$

$$Sd2 := \begin{cases} sdr & \text{if } [k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{um}) + (k_1 - k_3)] > 0 \\ sdp & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \text{ otherwise} \end{cases} \quad Sd2 = 18.5$$

Обмеження півширини

$$E_{вцт} := Sd2 + q + w + \Delta K2$$

$$E_{вцт} = 53.5$$

е) для зовнішнього перерізу, розміщеного в кінці кузова,

$$n_k := 3.175$$

$$\Delta K3 := \begin{cases} \left[k_2 \cdot (2 \cdot l + n_k) \cdot n_k - k_1 - k_3 \right] & \text{if } \left[k_2 \cdot (2 \cdot l + n_k) \cdot n_k - k_1 - k_3 \right] > 0 \\ 0 & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \cdot \frac{2 \cdot n_k + 2 \cdot l}{2 \cdot l} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta K3 = 0$$

$$Sd3 := \begin{cases} sdr & \text{if } \left[k_2 \cdot (2 \cdot l + n_k) \cdot n_k - k_1 - k_3 \right] > 0 \\ sdp & \text{if } |k_1 - k_3| > 8 \cdot \frac{2 \cdot n_k + 2 \cdot l}{2 \cdot l} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$Sd3 = 18.5$$

Обмеження півширини для зовнішнього перерізу, розміщеного в кінці кузова,

$$E_{HK} := (Sd3 + q + w) \cdot \frac{2 \cdot n_k + 2 \cdot l}{2 \cdot l} + \Delta K3$$

$$E_{HK} = 85.855$$

2. Для точок нижнього обрису, розміщених на відстані 115, 540 та 960 мм від осі шляху, обмеження визначаються за формулами:

$$E_{01} := q + 0.5 \cdot w \quad E_H := (10 + q + 0.5 \cdot w) \cdot \frac{2 \cdot n_k + 2 \cdot l}{2 \cdot l}$$

$$E_{\epsilon 1} := E_{01}$$

в яких q та w приймають рівними їх значенням для даної деталі,

$$E_{01} = 19 \quad E_{\epsilon 1} = 19$$

$$E_{c1} := E_{01} \quad E_{yc1} := E_{01} \quad E_{y\partial 1} := E_{01} \quad E_{m1} := E_{01}$$

$$E_{01} = 19 \quad E_{yc1} = 19 \quad E_{y\partial 1} = 19 \quad E_{m1} = 19 \quad E_H = 46.538$$

Таким чином, обмеження складають:

обмеження півширини для направляючого перерізу кузова, мм

$$E_0 = 53.5$$

обмеження півширини для внутрішнього перерізу, розміщеного посередині бази,

$$E_{вс} = 53.5$$

у перерізі постановки циліндрів, ближчих до середини вагона,

$$E_{вцс} = 53.5$$

у перерізі постановки циліндрів, більш віддалених від середини вагона,

$$E_{вцд} = 53.5$$

у місці постановки гальмівного циліндра,

$$E_{вцт} = 53.5$$

для зовнішнього перерізу, розміщеного в кінці кузова,

$$E_{нк} = 85.855$$

3. Для точок нижнього обрису габариту 1-Т, розміщених на відстані 871,5 та 718 мм від осі шляху, обмеження знаходяться таким чином: відстань від осі шляху до точки будівельного обрису, що визначає межу по горизонталі між деталями, котрі розміщені над точками нижнього обрису габариту рухомого складу, 718,5 мм знаходять з виразу $720+E_1$.

Для направляючого та внутрішніх перерізів знаходимо відстань $720+19=739$ мм, для консольного перерізу – $720+47=767$ мм.

Обмеження для визначення припустимої ширини частин, що опускаються в просторі, обмеженому точками, що розміщені на відстані від осі 718,5 мм та 871,5 мм визначаються за формулами

$$E_0 := q + w + k_1$$

$$E_0 = 42.802$$

$$E_c := q + w + k_2 \cdot (2 \cdot l - l) \cdot l + k_1$$

$$E_c = 111.708$$

$$E_{цс} := q + w + k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{цс}) \cdot n_{цс} + k_1$$

$$E_{цс} = 110.518$$

$$E_{цд} := q + w + k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{цд}) \cdot n_{цд} + k_1$$

$$E_{цд} = 104.483$$

$$E_m := q + w + k_2 \cdot (2 \cdot l - n_{цт}) \cdot n_{цт} + k_1$$

$$E_m = 85.22$$

$$E_k := sdr \cdot \frac{2 \cdot n_k}{2 \cdot l} + (q + w) \cdot \frac{2 \cdot n_k + 2 \cdot l}{2 \cdot l} + [k_2 \cdot (2 \cdot l + n_k) \cdot n_k - k_1]$$

$$E_k = 172.634$$

Будівельний та проектний обриси кузова думпкара при вписуванні в габарит 1-Т (у порожньому стані)

Максимально допустима ширина рухомого складу $2B$ на деякій висоті H над рівнем верха головки рейки визначається за формулою

$$2B = 2(B_0 - E),$$

де B_0 – півширина відповідного габариту рухомого складу на деякій висоті; E – одне з вказаних вище обмежень E_0, E_B, E_H .

За отриманими обмеженнями $E_0, E_{BC}, E_{BCS}, E_{BCD}, E_{BCU}, E_{HK}$ визначаються максимально допустимі будівельні та проектні обриси кузова думпкара з урахуванням конструкційних та технологічних допусків (допуск по висоті автозчепу – 20 мм; прогин нижньої рами всередині і в кінці консолі – 10 мм; прогин нижньої рами в місці постановки циліндрів, ближчих до середини вагона, – 9 мм; прогин нижньої рами в місці постановки циліндрів, більш віддалених від середини вагона, – 7 мм; технологічний допуск на ширину кузова – 10 мм на бік).

3.5. Перехідні процеси в динаміці вагонів

Динамічна система, на яку діють зовнішні збурюючі сили, здійснює вимушені коливання. На початку руху система прагне коливатися з частотою власних коливань і в той же час здійснювати вимушені коливання з частотою зовнішнього збудження. Процес переходу системи зі стану рівноваги в стан руху називається перехідним процесом.

Після проходження деякого часу власні коливання загасають і система здійснює вимушені коливання з частотою

зовнішнього збудження. Такий процес називається встановленим процесом коливань.

Для розв'язання звичайних диференціальних рівнянь на ЕОМ використовуються числові методи.

Mathcad використовує декілька функцій для розв'язання систем звичайних диференціальних рівнянь:

Rkadapt(y, x_1, x_2, n, F) – повертає матрицю розв'язання методом Рунге-Кутта зі змінним кроком для системи звичайних диференціальних рівнянь; з початковими умовами y в векторі y , праві частини яких записуються в символному векторі F , в інтервалі від x_1 до x_2 ; n - число кроків;

rkfixed(y, x_1, x_2, n, F) – повертає матрицю розв'язання методом Рунге-Кутта системи звичайних диференціальних рівнянь з початковими умовами y в векторі y , праві частини яких записуються в символному векторі F , в інтервалі від x_1 до x_2 при фіксованому числі кроків n .

У прикладі використана функція **rkfixed**(y, x_1, x_2, n, F).
Mathcad – документ має наступний вигляд.

Перехідні процеси в динамічних системах

Розглядаються коливання системи, зображеної на рисунку, без урахування сил опору гасіїв, якщо вона рухається зі швидкістю v по не пружному косинусоїдальному безстиківому рейковому шляху (рис. 3.2).

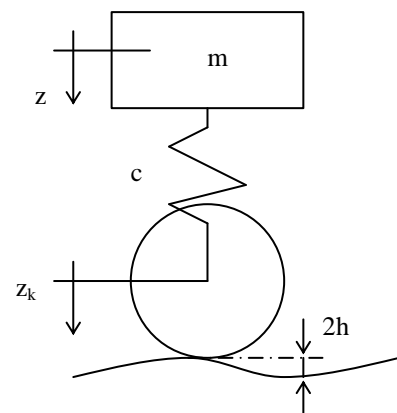


Рис. 3.2

Якщо

$$z_k = h \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

то

$$\frac{d^2}{dt^2} z + v^2 \cdot z = v^2 \cdot h \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Загальним рішенням цього рівняння є

$$z = z_1 + z_2,$$

де z_1 – загальне рішення відповідного однорідного рівняння;
 z_2 – окреме рішення неоднорідного рівняння.

$$z_2 = \frac{v^2 \cdot h}{v^2 - \omega^2} \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Рішення однорідного рівняння можна представити у вигляді

$$z_1 = A \cdot \cos(v \cdot t)$$

Тоді загальне рішення

$$z = \frac{v^2 \cdot h}{v^2 - \omega^2} \cdot \cos(\omega \cdot t) + A \cdot \cos(v \cdot t)$$

Приймаючи при $t=0$ $z=0$, остаточно отримуємо

$$z = h \cdot \frac{v^2}{v^2 - \omega^2} (\cos(\omega \cdot t) - \cos(v \cdot t))$$

1. Вихідні дані:

Амплітуда нерівності $h := 0.01$
Кругова частота власних коливань $\nu l := 15$
Кругова частота вимушених коливань $\omega l := 14$ $t l := 0, 0.001 \dots 16$

Переміщення можна визначити за формулою (рис. 3.3)

$$z_l(t_l) := h \cdot \frac{\nu l^2}{\nu l^2 - \omega l^2} \cdot (\cos(\omega l \cdot t_l) - \cos(\nu l \cdot t_l))$$

Такі коливання називаються биттям.

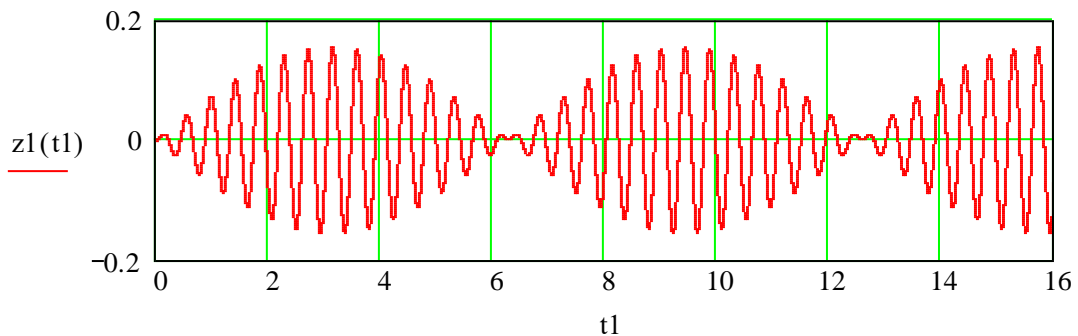


Рис. 3.3

Частота биття $\varepsilon := \frac{\nu l - \omega l}{2}$ $\varepsilon = 0.5$

Період коливань $T_l := \frac{2 \cdot \pi}{\varepsilon}$ $T_l = 12.566$

Амплітуда биття $A_b(t) := \frac{h \cdot \omega l}{2 \cdot \varepsilon} \cdot \sin(\varepsilon \cdot t)$

2. При $\omega = \nu$ настає резонанс. Графік коливань при резонансі показаний на рис. 3.4.

$\nu := 15$ $\omega := 14.999$ $t := 0, 0.001 \dots 5$

$$z(t) := h \cdot \frac{\nu^2}{\nu^2 - \omega^2} \cdot (\cos(\omega \cdot t) - \cos(\nu \cdot t))$$

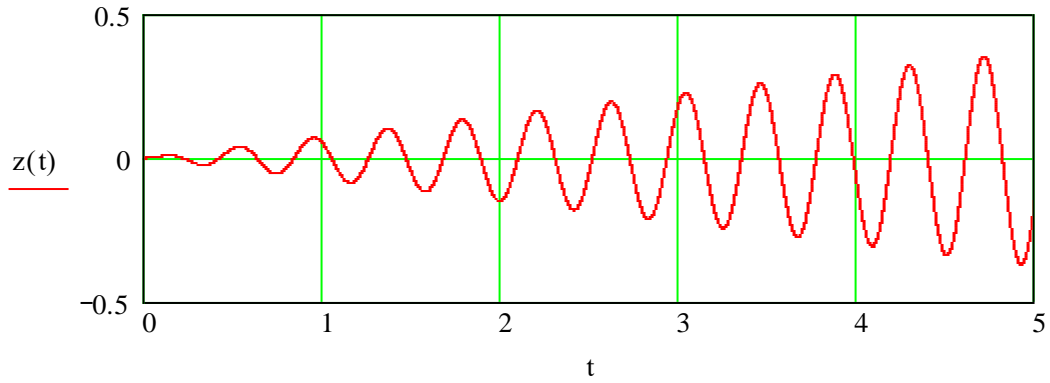


Рис. 3.4

Період коливань $T_1 := \frac{2 \cdot \pi}{\omega}$ $T_1 = 0.419$

3. Частота власних коливань більше частоти вимушених коливань (рис. 3.5) ($\nu_2 > \omega_2$).

$\nu_2 := 15$ $\omega_2 := 2$ $t_2 := 0, 0.001 .. 10$

$$z_2(t_2) := h \cdot \frac{\nu_2^2}{\nu_2^2 - \omega_2^2} \cdot (\cos(\omega_2 \cdot t_2) - \cos(\nu_2 \cdot t_2))$$

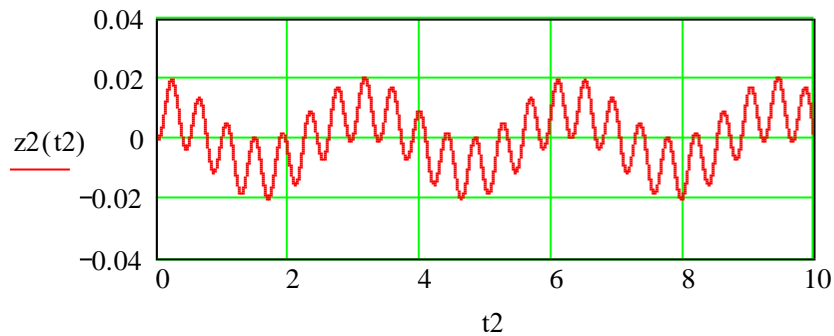


Рис. 3.5

Періоди коливань: $T_{2_1} := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_2}$ $T_{2_1} = 3.142$

$T_{2_2} := \frac{2 \cdot \pi}{\nu_2}$ $T_{2_2} = 0.419$

4. Частота власних коливань (рис. 3.6) менше частоти вимушених коливань ($\nu < \omega$).

$$\nu_3 := 15 \quad \omega_3 := 40 \quad t_3 := 0, 0.001..5$$

$$z_3(t_3) := h \cdot \frac{\nu_3^2}{\nu_3^2 - \omega_3^2} \cdot (\cos(\omega_3 \cdot t_3) - \cos(\nu_3 \cdot t_3))$$

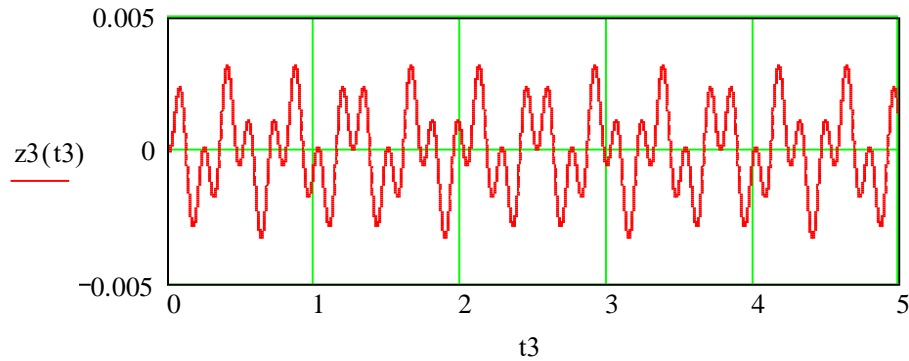


Рис. 3.6

Періоди коливань: $T_{31} := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_3} \quad T_{31} = 0.157$

$$T_{32} := \frac{2 \cdot \pi}{\nu_3} \quad T_{32} = 0.419$$

5. Розглянемо коливання в системі з демпфіруванням.

Нехай коливання в системі описуються диференціальним рівнянням

$$100 \cdot \frac{d^2}{dt^2} x(t) + 10 \cdot \frac{d}{dt} x(t) + 101 \cdot x(t) = 50 \cdot \cos\left(\frac{1}{4} \cdot t\right)$$

при початкових умовах

$$x(0) = 0 \quad \frac{d}{dt} x(t) = 1$$

Введемо позначення:

$$x_0(t) = x(t) \quad x_1(t) = \frac{d}{dt}x_0(t)$$

Тоді диференціальне рівняння другого порядку можна представити у вигляді системи двох диференціальних рівнянь першого порядку

$$\frac{d}{dt}x_0(t) = x_1(t)$$

$$\frac{d}{dt}x_1(t) = \frac{1}{100} \cdot \left(50 \cdot \cos\left(\frac{1}{4} \cdot t\right) - 10 \cdot x_1(t) - 101 \cdot x_0(t) \right)$$

з початковими умовами

$$\begin{pmatrix} x_0(0) \\ x_1(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Числові рішення системи диференціальних рівнянь методом Рунге-Кутта отримано за допомогою функції `rkfixed(ic, t0, t1, N, D)` математичної системи Mathcad.

Вектор початкових умов

$$ic := \begin{pmatrix} 1 \\ 0.02 \end{pmatrix}$$

Часовий інтервал для числових розрахунків:

$N := 1500$ число кроків для числових розрахунків

$t_0 := 0$ початковий момент часу

$t_1 := 10$ кінцевий момент часу

Вектор містить диференціальні рівняння

$$D(t, X) := \begin{bmatrix} X_1 \\ \frac{1}{8} \cdot \left(200 \cdot \cos\left(\frac{75}{15} \cdot t\right) - 10 \cdot X_1 - 1600 \cdot X_0 \right) \end{bmatrix}$$

$$S := rkfixed(ic, t_0, t_1, N, D)$$

$$T := S^{(0)}$$

$$X := S^{(1)}$$

Застосування методу Рунге-Кутта. Рішення S являє собою матрицю розміром $N \times 3$. Перший стовпчик цієї матриці $S^{(0)}$ містить моменти часу, наступні стовпчики містять значення функції, відповідні цим моментам часу (рис. 3.7).

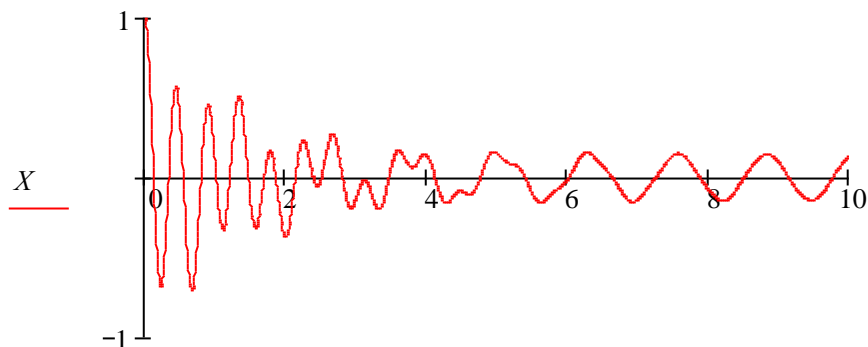


Рис. 3.7^T

4. АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ПРИ РЕМОНТІ ВАГОНІВ

4.1. Розрахунок силових головок автоматів

Розрахунок силових головок машин [9] може бути виконаний за допомогою математичної системи Mathcad. Для цього необхідно відкрити Mathcad, ввести вихідні дані та розрахункові формули, після чого будуть виконані необхідні розрахунки. Користувач може на свій розсуд вивести значення деяких (або всіх) змінних. Для пояснення в документ може бути введений необхідний текст.

Якщо змінити значення деякої змінної, то Mathcad одразу перерахує всі формули. Це відкриває широкі можливості для аналізу результатів розрахунку.

Свердлильна силова головка

Вихідні дані:

- діаметр свердла (5... 50 мм)	$d := 10$
- допустиме осьове зусилля міцності свердла (500 ... 750 Н)	$P_o := 500$
- технологічна подача (0,05...0,5 мм/об)	$s_o := 0.05$
- швидкість різання (50...18 мм/хв)	$V := 50$
- діаметр штока (20 ... 80 мм)	$d_{\phi\delta} := 25$
- тиск стисненого повітря (3...4·10 ⁵ Па)	$p := 4 \cdot 10^5$
- щільність мастила (800...900 кг/м ³)	$\rho := 900$
- глибина свердління (l<=3d мм)	$l := 15$
- відстань від деталі до свердла в початковому положенні (20...40 мм)	$\delta := 25$
- коефіцієнт витрати рідини через отвір	$\mu := 0.5$

Діаметр піноли за умови міцності свердла, м

$$D := \sqrt{\frac{4 \cdot P_o + \frac{0.8 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot p}{10000000}}{0.8 \cdot \pi \cdot p}} \quad D = 0.045$$

Частота обертання свердла, об/хв

$$n_c := \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad n_c = 1.592 \times 10^3$$

Секундна подача, м/с

$$s_i := \frac{n_c \cdot s_o}{60000} \quad s_i = 1.326 \times 10^{-3}$$

Площа перерізу дроселя, м²

$$f := \frac{s_i \cdot \pi \cdot D^2}{4 \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}}} \quad f = 1.397 \times 10^{-7}$$

Крутний момент, Н·м

$$M_k := 0.5 \cdot d^2 \cdot s_o \quad M_k = 2.5$$

Коефіцієнт корисної дії передачі $\eta_n := 0.9$

Потужність електродвигуна головного руху, кВт

$$P := \frac{M_k \cdot n_c}{9570 \cdot \eta_n} \quad P = 0.462$$

Тривалість обробки, с

$$t_c := \frac{2 \cdot (l + 0.29 \cdot d + \delta)}{1000 \cdot s_i} \quad t_c = 64.692$$

Шліфувальна силова головка

Вихідні дані:

- зовнішній діаметр абразивного круга (200...500 мм)	$D := 200$
- внутрішній діаметр абразивного круга (32...203 мм)	$d := 32$
- глибина шліфування (0,001...0,04 мм)	$t := 0.007$
- швидкість обертання круга (30...80 м/с)	$V_k := 30$
- щільність сталі, кг/м ³	$\rho_c := 7850$
- величина обробки виробу, мм	$h := 1.5$
- зовнішній діаметр виробу (пружини), мм	$D1 := 160$
- $d1 = D1 - 2d_n$ - внутрішній діаметр пружини (d_n - діаметр прутка), мм	$d1 := 100$
- коефіцієнт тертя (0,4...0,6)	$f := 0.4$
- зусилля притискання виробу до круга (10...100 Н)	$Q := 10$
- швидкість подачі кола в процесі різання в напрямку зусилля різання, м/хв	$V_n := 5$
- величина повздовжньої подачі (1...10 м/хв)	$S_n := 5$

Середній діаметр абразивного круга, мм

$$D_{cp} := 0.5 \cdot (D + d) \quad D_{cp} = 116$$

Маса металу, що зрізається за одну хвилину

$$m_c := \frac{t \cdot (D - d) \cdot V_n \cdot \rho_c}{1000000} \quad m_c = 0.046$$

Частота обертання круга, об/хв

$$n_\phi := \frac{60000 \cdot V_k}{\pi \cdot D} \quad n_\phi = 2.865 \times 10^3$$

Ефективна потужність при торцевому шліфуванні, кВт

$$Ne := 0.005 \cdot (D - d) \cdot S_n^{0.7} \quad Ne = 2.592$$

Сила різання, Н

$$P_z := \frac{1000 \cdot Ne}{V_k} \quad P_z = 86.385$$

Крутний момент, Н·м

$$M_k := \frac{P_z \cdot D_{cp} + Q \cdot f \cdot (Dl + dl)}{2000} \quad M_k = 5.53$$

ККД передачі $\eta_n := 0.8$

Потужність електродвигуна, кВт

$$P := \frac{M_k \cdot n_\phi}{9570 \cdot \eta_n} \quad P = 2.069$$

Тривалість обробки, с

$$t_\phi := \frac{0.785 \cdot h \cdot (Dl^2 - dl^2) \cdot \rho_c \cdot 60}{m_c \cdot 1000^3} \quad t_\phi = 187.439$$

4.2. Розрахунок гідросистеми мийної машини

Часто доводиться виконувати декілька варіантів розрахунку. Для цього використовують ранжовані змінні. Ранжовані змінні дозволяють виконувати численні розрахунки. Змінна набуває ряд дискретних значень із заданим кроком. Ранжовані змінні мають такий вигляд:

$$N:=N1..NN.$$

Для введення ранжованої змінної необхідно:

- поставити візир (червоний хрестик) за допомогою клавіш переміщення або миші в потрібному місці;
- ввести ім'я змінної (наприклад, g);
- на панелі інструментів **Calculator** (Калькулятор) клацнути мишею по кнопці := ;
- ввести початкове значення (наприклад, 1);
- на панелі інструментів **Matrix** (Матриці) клацнути мишею по кнопці m..n;
- ввести кінцеве значення (наприклад, 7).

Остаточно отримуємо

$$g:=1..7.$$

У результаті змінній будуть присвоєні значення 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Можна створити змінну, котра набуває значення з заданим кроком. Ця змінна має такий вигляд:

$$N:=N1, N2..NN.$$

Якщо потрібно створити ранжовану змінну з ім'ям g, що має значення від 1 до 7 з кроком 2, то необхідно набрати

$$g:=1, 3..7.$$

Можна користуватися тільки клавіатурою. Наприклад, якщо набрати

$$g: 1, 3; 7,$$

то на екрані дисплея з'явиться

$$g:=1, 3..7.$$

Тут перші два значення задають початок та крок, який дорівнює 2 (різниця між другим та першим значеннями). Клавіша, що містить крапку з комою (;), вводить символ переліку значень «від – до» у вигляді двох крапок (..).

Значення змінної можна вивести на екран дисплея. Для цього достатньо ввести ім'я змінної і знак « \Rightarrow » (рис. 4.1).

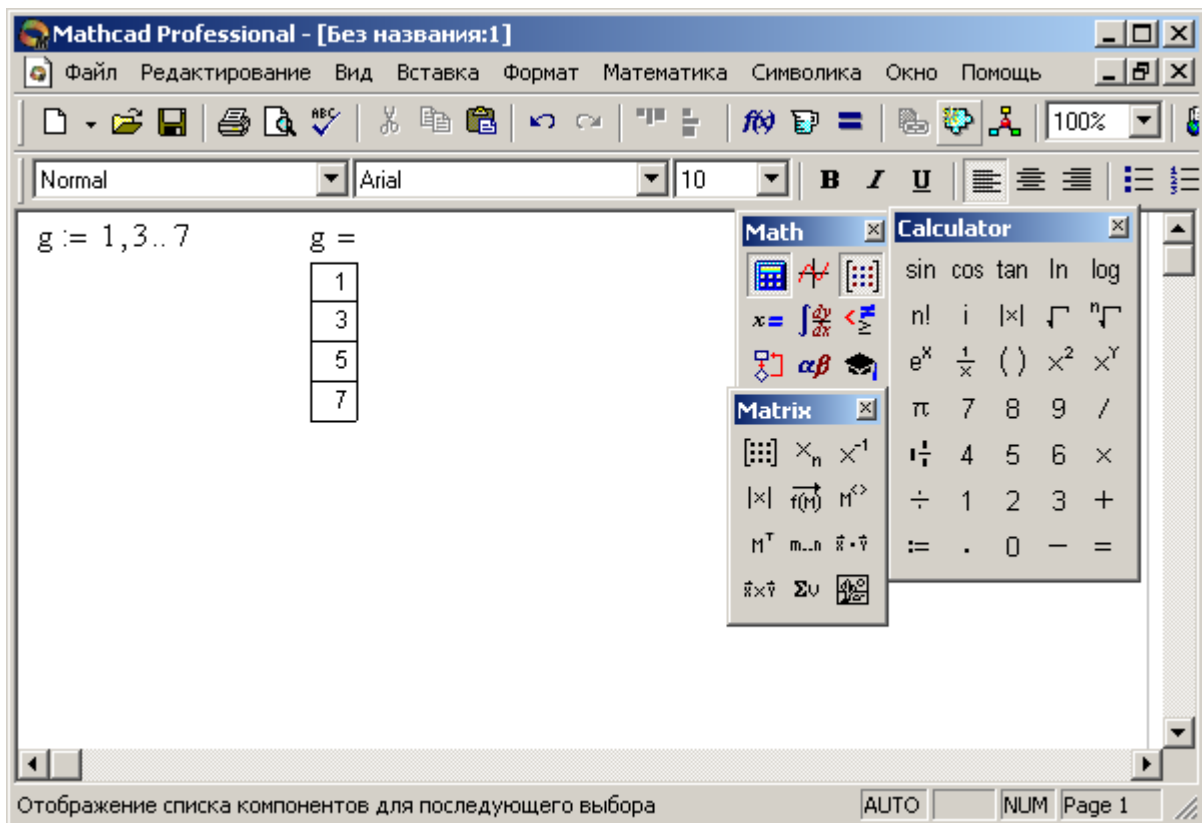


Рис. 4.1

Нижче приведений текст документа Mathcad.

Гідросистема мийної машини

Вихідні дані:

- число насадок (сопел) $n := 50$

- діаметр сопла (0,001 - 0,011 м)

$d := 0.004, 0.005 .. 0.006$ $d =$

$4 \cdot 10^{-3}$
$5 \cdot 10^{-3}$
$6 \cdot 10^{-3}$

$$p := 2 \cdot 10^5, 3 \cdot 10^5 \dots 4 \cdot 10^5$$

$p =$
$2 \cdot 10^5$
$3 \cdot 10^5$
$4 \cdot 10^5$

- тиск рідини перед соплом (2 - 40·10⁵Па)
- швидкість течії рідини в нагнітальному трубопроводі (3-7 м/с)
- швидкість течії рідини у всмоктуючому трубопроводі (1-2 м/с)
- відстань між поверхнею рідини в баці і колектором (2-4 м)
- довжина нагнітального трубопроводу (2.5 - 4.5 м)
- довжина всмоктуючого трубопроводу (1.5 - 2.5 м)
- кількість колін у нагнітальному трубопроводі
- кількість колін у всмоктуючому трубопроводі
- кінематична в'язкість рідини (16-30·10⁻⁶ м²/с)
- щільність рідини (1000 кг/м³)
- коефіцієнт витрати рідини через отвір (0,4 - 0,9)
- коефіцієнт опору фільтра
- коефіцієнт опору коліна
- тривалість обмивання, хв
- прискорення вільного падіння, м/с²

$$v_{\partial i} := 7$$

$$v_{\partial a} := 2$$

$$H := 3$$

$$l_{\partial i} := 3.5$$

$$l_{\partial a} := 2$$

$$n_{\hat{e}i} := 1$$

$$n_{\hat{e}a} := 1$$

$$\zeta := 0.000025$$

$$\rho := 1000$$

$$\mu := 0.7$$

$$\xi_{\hat{o}} := 6$$

$$\xi_{\hat{e}} := 0.5$$

$$t_{\hat{a}} := 10$$

$$g := 9.8$$

Площа прохідних перерізів насадок, м²

$$f(d) := n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$f(d) =$
$5.283 \cdot 10^{-4}$
$9.817 \cdot 10^{-4}$
$1.414 \cdot 10^{-3}$

Розрахункова подача, м³/с

$$Q(d, p) := 1.2 \cdot f(d) \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}}$$

$Q(d, p) =$
0.011
0.016
0.024
0.013
0.02
0.029
0.015
0.023
0.034

Розрахунковий діаметр нагнітального трубопроводу, м

$$d_{\delta i}(d, p) := \sqrt{\frac{4 \cdot Q(d, p)}{\pi \cdot v_{\delta i}}} \quad d_{\delta i}(d, p)$$

0.044
0.055
0.066
0.048
0.061
0.073
0.052
0.065
0.078

Розрахунковий діаметр всмоктуючого трубопроводу, м

$$d_{\delta \hat{a}}(d, p) := \sqrt{\frac{4 \cdot Q(d, p)}{\pi \cdot v_{\delta \hat{a}}}} \quad d_{\delta \hat{a}}(d, p)$$

0.082
0.102
0.123
0.091
0.113
0.136
0.097
0.122
0.146

Число Рейнольдса для нагнітального трубопроводу та значення коефіцієнта λ , що характеризує режим течії рідини для нагнітального трубопроводу

$$Re_i(d, p) := \frac{v_{\delta i} \cdot d_{\delta i}(d, p)}{\zeta} \quad Re_i(d, p) =$$

$1.227 \cdot 10^4$
$1.534 \cdot 10^4$
$1.84 \cdot 10^4$
$1.358 \cdot 10^4$
$1.697 \cdot 10^4$
$2.037 \cdot 10^4$
$1.459 \cdot 10^4$
$1.824 \cdot 10^4$
$2.189 \cdot 10^4$

Значення коефіцієнта λ , що характеризує режим течії рідини для нагнітального трубопроводу

$$\lambda_{\delta i}(d, p) := \begin{cases} \frac{75}{Re_i(d, p)} & \text{if } Re_i(d, p) < 2300 \\ 0.025 & \text{if } Re_i(d, p) > 2300 \end{cases} \quad \lambda_{\delta i}(d, p)$$

0.025
0.025
0.025
0.025
0.025
0.025
0.025
0.025
0.025

Число Рейнольдса для всмоктуючого трубопроводу

$$Re_{\hat{a}}(d, p) := \frac{v_{\delta \hat{a}} \cdot d_{\delta i}(d, p)}{\zeta} \quad Re_{\hat{a}}(d, p) =$$

$3.505 \cdot 10^3$
$4.382 \cdot 10^3$
$5.258 \cdot 10^3$
$3.879 \cdot 10^3$
$4.849 \cdot 10^3$
$5.819 \cdot 10^3$
$4.169 \cdot 10^3$
$5.211 \cdot 10^3$
$6.253 \cdot 10^3$

Значення коефіцієнта λ , що характеризує режим протікання рідини для всмоктуючого трубопроводу

$$\lambda_{\delta \hat{a}}(d, p) := \begin{cases} \frac{75}{Re_{\hat{a}}} & \text{if } Re_{\hat{a}} < 2300 \\ 0.025 & \text{if } Re_{\hat{a}} > 2300 \end{cases} \quad \lambda_{\delta \hat{a}}(d, p)$$

0.025
0.025
0.025
0.025
0.025
0.025
0.025
0.025
0.025

Коефіцієнт втрати тиску для нагнітального трубопроводу

$$\xi_{\hat{\delta}i}(d, p) := \frac{\lambda_{\hat{\delta}i}(d, p) \cdot l_{\hat{\delta}i}}{d_{\hat{\delta}i}(d, p)} \quad \xi_{\hat{\delta}i}(d, p)$$

1.997
1.598
1.331
1.804
1.444
1.203
1.679
1.343
1.119

Коефіцієнт втрати тиску для всмоктуючого трубопроводу

$$\xi_{\hat{\delta}\hat{a}}(d, p) := \frac{\lambda_{\hat{\delta}\hat{a}}(d, p) \cdot l_{\hat{\delta}\hat{a}}}{d_{\hat{\delta}\hat{a}}(d, p)} \quad \xi_{\hat{\delta}\hat{a}}(d, p)$$

0.61
0.488
0.407
0.551
0.441
0.367
0.513
0.41
0.342

Витрати тиску для нагнітального трубопроводу, Па

$$\Delta p_{\hat{\delta}i}(d, p) := \rho \cdot \frac{v_{\hat{\delta}i}^2}{2} \cdot (n_{\hat{\delta}i} \cdot \xi_{\hat{e}} + \xi_{\hat{\delta}i}(d, p)) \quad \Delta p_{\hat{\delta}i}(d, p) =$$

$6.117 \cdot 10^4$
$5.139 \cdot 10^4$
$4.487 \cdot 10^4$
$5.646 \cdot 10^4$
$4.762 \cdot 10^4$
$4.172 \cdot 10^4$
$5.339 \cdot 10^4$
$4.516 \cdot 10^4$
$3.968 \cdot 10^4$

Витрати тиску для всмоктуючого трубопроводу, Па

$$\Delta p_{\partial \hat{a}}(d, p) := \rho \cdot \frac{v_{\partial \hat{a}}^2}{2} \cdot (n_{\hat{a}} \cdot \xi_{\hat{e}} + \xi_{\partial \hat{a}}(d, p)) \quad \Delta p_{\partial \hat{a}}(d, p) =$$

2.22 · 10 ³
1.976 · 10 ³
1.813 · 10 ³
2.102 · 10 ³
1.882 · 10 ³
1.735 · 10 ³
2.026 · 10 ³
1.821 · 10 ³
1.684 · 10 ³

Тиск, що повинен розвинути насос (для нижнього розміщення бака), Па

$$p_i(d, p) := p + \rho \cdot g \cdot H + \Delta p_{\partial i}(d, p) + \Delta p_{\partial \hat{a}}(d, p) \quad p_i(d, p) =$$

2.928 · 10 ⁵
2.828 · 10 ⁵
2.761 · 10 ⁵
3.88 · 10 ⁵
3.789 · 10 ⁵
3.729 · 10 ⁵
4.848 · 10 ⁵
4.764 · 10 ⁵
4.708 · 10 ⁵

Подача насоса, м³/с

$$Q_i(d, p) := \frac{Q(d, p)}{0.98} \quad Q_i(d, p) =$$

0.011
0.017
0.024
0.013
0.021
0.03
0.015
0.024
0.034

Коефіцієнт запасу на випадок перевантаження двигуна $k := 1.1$
 Повний ККД насосної установки (для поршневих насосів 0,6-0,9;
 відцентрових насосів 0,75 - 0,92; шестерінчастих та
 пластинчастих 0,8)

$$\eta := 0.8$$

Коефіцієнт корисної дії передачі

$$\eta_n := 0.9$$

Потужність електродвигуна насоса, кВт

$$P(d, p) := k \cdot \frac{p_i(d, p) \cdot Q_i(d, p)}{1000 \cdot \eta \cdot \eta_n} \quad P(d, p) =$$

4.818
7.271
10.222
7.819
11.932
16.908
11.283
17.323
24.65

Об'єм бака, м³

$$V(d, p) := 1.2 \cdot Q_i(d, p) \cdot \frac{t_{\hat{u}}}{60} \quad V(d, p) =$$

$2.154 \cdot 10^{-3}$
$3.366 \cdot 10^{-3}$
$4.847 \cdot 10^{-3}$
$2.638 \cdot 10^{-3}$
$4.122 \cdot 10^{-3}$
$5.936 \cdot 10^{-3}$
$3.047 \cdot 10^{-3}$
$4.76 \cdot 10^{-3}$
$5.855 \cdot 10^{-3}$

4.3. Розрахунок потужності електродвигуна та параметрів кантувачів і поворотних кругів

Нижче наводиться текст документа Mathcad.

Розрахунок кантувача

Вихідні дані:

- коефіцієнт, що враховує сили інерції (1.1...1.3), $\mu_{\dot{\varphi}} := 1.2$
- передаточне число редуктора (у таких пристроях повинні застосовуватися двоступінчасті циліндричні редуктори або черв'ячні редуктори) $u_p := 40$
- ККД передачі $\eta_n := 0.94$
- коефіцієнт тертя кочення (0.05...0.08) $f_{\delta} := 0.08$
- відстань від осі обертання до зовнішньої поверхні внутрішнього кільця підшипника (0.029...0.695 м) $r_n := 0.04$
- розмір виробу вздовж вилкоподібного захвату, м $B := 2$
- відстань від осі обертання до центра тяжіння виробу (0.1...0.03 для двостійкових кантувачів та $\rho_u = B/2 + 0.1$ для вилкоподібних) кантувачів, м $\rho_{\dot{\varphi}} := 0.15$
- вага виробу, Н $G_{\dot{\varphi}} := 25000$
- вага захватного пристрою, Н $G_{\zeta} := 0.005 \cdot G_{\dot{\varphi}}$ $G_{\zeta} = 125$
- відстань від осі обертання до центру тяжіння вилкоподібного захвату ($\rho_3 = B/3 + 0.1$ м) $\rho_{\zeta} := 0$
- частота обертання двигуна (750...10000 об/хв) $n_{\dot{\varphi}} := 750$
- вага поворотного стола круга, Н $G_c := 0$
- відстань від осі поворотного круга до роликової опори ($r_k \approx 1.25$ м) $r_k := 1.25$
- відстань від центра тяжіння виробу до вертикальної осі поворотного круга, м $\delta_0 := 0$
- відстань між підшипниками вздовж валів поворотного круга (0.2...0.6 м) $A := 0$

Момент, що має розвивати електродвигун, залежить від схеми кантувача або поворотного круга.

Введемо змінну sh , котра буде визначати схему кантувача або поворотного круга. Надамо змінній одне з таких значень:

- 1 - для двостійкових кантувачів;
- 2 - для вилкоподібних кантувачів;
- 3 - для поворотних кругів, поворотні столи яких опираються на опорні ролики, що розміщенні по периметру стола;
- 4- для поворотних кругів, вертикальний вал яких змонтований на підшипниках.

Введіть номер схеми (1, 2, 3 або 4): $sh := 2$

Момент, що має розвивати електродвигун, Н·м

$$M_{\ddot{a}} := \begin{cases} \frac{\mu_{\dot{\epsilon}} \cdot [(G_{\dot{\zeta}} + G_{\dot{\epsilon}}) \cdot f_{\dot{\delta}} \cdot r_n + G_{\dot{\epsilon}} \cdot \rho_{\dot{\epsilon}}]}{u_p \cdot \eta_n} & \text{if } sh = 1 \\ \frac{1.1 \cdot \mu_{\dot{\epsilon}} \cdot (G_{\dot{\zeta}} \cdot \rho_{\dot{\zeta}} + G_{\dot{\epsilon}} \cdot \rho_{\dot{\epsilon}})}{u_p \cdot \eta_n} & \text{if } sh = 2 \\ \frac{\mu_{\dot{\epsilon}} \cdot (G_c + G_{\dot{\epsilon}}) \cdot f_{\dot{\delta}} \cdot r_k}{u_p \cdot \eta_n} & \text{if } sh = 3 \\ \frac{\mu_{\dot{\epsilon}} \cdot (G_c + G_{\dot{\epsilon}}) \cdot f_{\dot{\delta}} \cdot r_n + \frac{2 \cdot G_{\dot{\epsilon}} \cdot \delta_0}{A}}{u_p \cdot \eta_n} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{\ddot{a}} = 131.649$$

Потужність електродвигуна, кВт

$$P := \frac{M_{\ddot{a}} \cdot n_{\ddot{a}}}{9570} \quad P = 10.317$$

4.4. Розрахунок потужності двигуна пластинчастого конвеєра

4.4.1. Розрахунок параметрів та потужності двигуна конвеєра

Основні параметри пластинчастих конвеєрів:

- ширина настилу B : 400; 500; 650; 800; 1000; 1200; 1400; 1600 мм;
- висота борта H : 80; 100; 125; 160; 200; 250; 310; 350; 400; 450 мм;
- крок тягового ланцюга t : 80; 100; 125; 160; 200; 250; 310; 400; 500; 630; 800 мм;
- число зубців зірочок z : 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13;
- швидкість руху ходової частини v : 0.08; 0.1; 0.125; 0.16; 0.2; 0.25; 0.315; 0.4; 0.5; 0.63; 0.8; 1 м/с.

Розрахунок параметрів та потужності двигуна конвеєра

Прийmemo такі вихідні дані:

- | | |
|---|-----------------------|
| - швидкість руху конвеєра, м/с | $v := 0.4$ |
| - кількість виробів, що одночасно рухаються, шт. | $\theta := 6$ |
| - вага виробу, Н | $G_{\theta} := 250$ |
| - умовна вага настилу для пластинчастого конвеєра (130; 160; 210 Н/м ²) | $q := 160$ |
| - ширина настилу пластинчастого конвеєра, м | $B := 0.8$ |
| - відстань між виробами на конвеєрі (0.5...2 м) | $l := 1$ |
| - довжина виробу, м | $L_{\theta} := 0.382$ |
| - коефіцієнт опору руху: 0.3-0.4 при ковзанні тягового ланцюга по направляючих; 0.12-0.16 при переміщенні тягового органу по роликах з підшипниками ковзання; 0.05-0.08 при переміщенні тягового органу по роликах з підшипниками кочення | $w := 0.3$ |
| - ККД передачі | $\mu_n := 0.94$ |
| - число зубців зірочок | $z := 10$ |

Діаметр початкового кола зірочки, м

$$D_{\zeta} := \frac{t}{\sin\left(\frac{\pi}{z}\right)} \quad D_{\zeta} = 0.809$$

Довжина конвеєра, м

$$L := \theta \cdot (L_{\hat{e}} + l) + D_{\zeta} \quad L = 9.101$$

Сила опору руху при огинанні тяговим органом зірочок, Н

$$W_k := 180 \cdot B + 1.2 \cdot L \quad W_k = 154.921$$

Сумарний опір руху, Н

$$W := (\theta \cdot G_{\hat{e}} + q \cdot B \cdot L) \cdot w + W_k \quad W = 954.4$$

Потужність електродвигуна, кВт

$$P := \frac{W \cdot v}{1000 \cdot \mu_n} \quad P = 0.406$$

Тривалість переміщення об'єкта, с

$$t_{\text{дв}} := \frac{L_{\hat{e}} + l}{v} \quad t_{\text{дв}} = 3.455$$

Вибір типу двигуна виконується на основі умови підвищення його номінальної потужності над розрахунковою

$$P_n \geq P.$$

Процес обирання типу та параметрів двигуна виконується на основі вбудовування робочого аркуша Excel в документ Mathcad (рис 4.2).

4.4.2. Вибір типу двигуна

4.4.2.1. Вбудовування компонентів у документ Mathcad

У документі Mathcad можуть бути присутні різні документи, створені іншими програмами. В Mathcad їх називають компонентами.

Помістимо за допомогою миші курсор вводу на пусте місце документа Mathcad та оберемо в головному меню **Вставка – Компонент**. З'явиться вікно **Мастер компонентов** (Майстер компонентів), в якому можна обрати необхідний компонент (рис. 4.3).

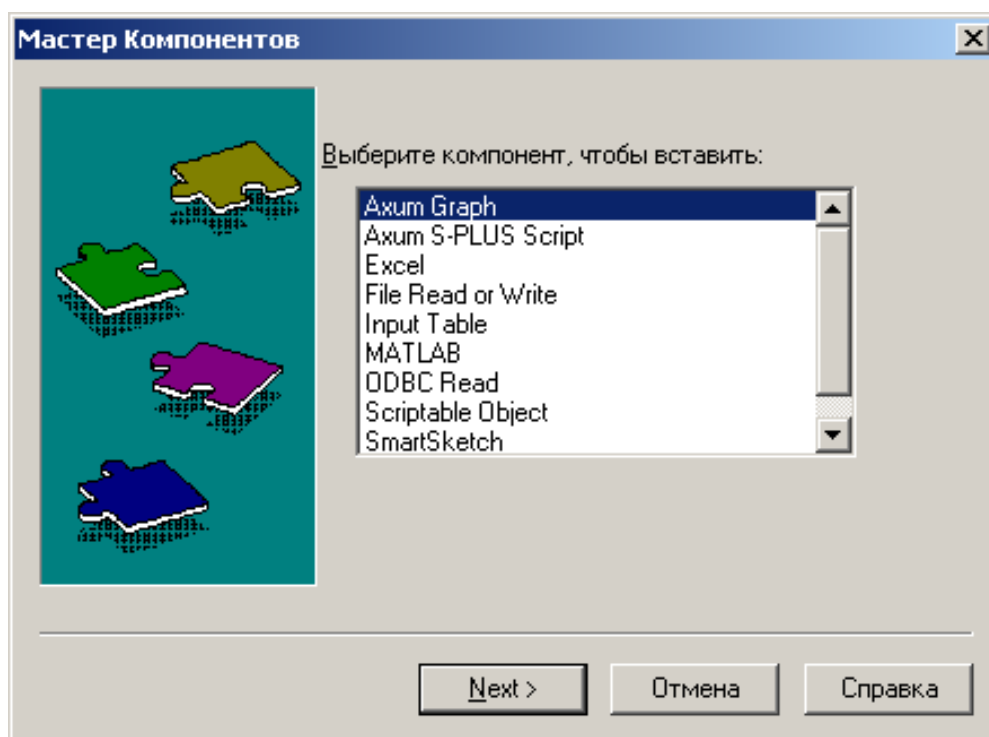


Рис. 4.3

Можна вставити в документ Mathcad один з таких компонентів:

- *Ахум* для вставлення Ахум–графіків. Цей компонент використовують у тих випадках, коли необхідний тип графіка, якого немає в Mathcad;

- *File Read or Write* служить для зчитування даних з файлу або записування їх у файл. У процесі запиту або зчитування можуть брати участь різні типи файлів. Це можуть бути текстові (ASCII – файли), файли програм Matlab, Maple, Excel та ін. Компоненти мають важливу властивість: зміни, що заносяться в Mathcad–документ, одразу ж відображаються у файлі, в котрий записуються дані. При змінах файлів, звідки зчитуються дані, зміни одразу з’являються в Mathcad – документі;
- *Input Table* призначений для одноразового імпортування даних з файлу. Клацнувши правою кнопкою миші на таблиці введення, з’являється компонент меню, з якого слід обрати команду **Import**. З’явиться діалогове вікно **Read from File**, в якому необхідно вказати ім’я файлу;
- *Excel* використовується для обміну даними між Mathcad та Excel. Значення, введені в Mathcad, можна передавати в Excel і там виконувати розрахунки з цими параметрами. Результати цих розрахунків можуть бути передані в Mathcad для подальшої обробки.

4.4.2.2. Компонент Excel

В Excel є функції, котрі дозволяють вибрати тип двигуна на основі умови перевищення його номінальної потужності над розрахунковою

$$P_1 \geq P$$

Відкриємо Excel та складемо таблицю, яку назвемо «Двигатель 1».

У комірку A1 введемо 1. Це початкове значення розрахункової потужності. Можна було б ввести розрахункове значення потужності. Це не має значення, тому що в будь-якому випадку в цю комірку Mathcad буде передавати розрахункове значення потужності двигуна.

Діапазон комірок B2:E19 буде містити характеристики двигунів, з числа яких буде здійснюватися вибір. У комірках

B2:B19 введемо типи двигунів, в комірки C2:C19 – значення потужності, в комірки D2:D19 – частоту обертання, в комірки E2:E19 – ККД двигуна.

Відсортуємо значення комірок C2:C19 в порядку зростання.

Введемо в F2 формулу
`=ЕСЛИ(C2>A1;C2;"")`.

Заповнимо діапазон C3:C19, як показано на рис. 4.4. У результаті в комірках будуть відібрані ті двигуни, що мають потужність більше розрахункового значення.

	A	B	C	D	E	F
1	1					
2		4AА63A4Y3	0,25	1380	0,68	=ЕСЛИ(C2>\$A\$1;C2;"")
3		4AА63B4Y3	0,37	1365	0,68	=ЕСЛИ(C3>\$A\$1;C3;"")
4		4A71A4Y3	0,55	1390	0,705	=ЕСЛИ(C4>\$A\$1;C4;"")
5		4A100S8/6/4	0,71	700	0,59	=ЕСЛИ(C5>\$A\$1;C5;"")
6		4A71B4Y3	0,75	1390	0,72	=ЕСЛИ(C6>\$A\$1;C6;"")
7		4A100L8/6/4	0,9	700	0,61	=ЕСЛИ(C7>\$A\$1;C7;"")
8		4A80A4Y3	1,1	1420	0,75	=ЕСЛИ(C8>\$A\$1;C8;"")
9		4A112MA8/6/4	1,12	710	0,65	=ЕСЛИ(C9>\$A\$1;C9;"")
10		4A112MB8/6/4	1,4	720	0,635	=ЕСЛИ(C10>\$A\$1;C10;"")
11		4A80B4Y3	1,5	1415	0,77	=ЕСЛИ(C11>\$A\$1;C11;"")
12		4A90L4Y3	2,2	1425	0,8	=ЕСЛИ(C12>\$A\$1;C12;"")
13		4A100L4Y3	3	1435	0,82	=ЕСЛИ(C13>\$A\$1;C13;"")
14		4A100S43	4	1430	0,84	=ЕСЛИ(C14>\$A\$1;C14;"")
15		4A112M43	5,6	1445	0,855	=ЕСЛИ(C15>\$A\$1;C15;"")
16		4A132S43	7,5	1455	0,875	=ЕСЛИ(C16>\$A\$1;C16;"")
17		4A180M8/6/4	8	730	0,78	=ЕСЛИ(C17>\$A\$1;C17;"")
18		4A132M43	11	1460	0,875	=ЕСЛИ(C18>\$A\$1;C18;"")
19		4A160S43	15	1465	0,895	=ЕСЛИ(C19>\$A\$1;C19;"")
20						
21				Мощность двигателя		=НАИМЕНЬШИЙ(F2:F19;1)
22						

Рис. 4.4

Введемо в комірку F21 формулу
`=НАИМЕНЬШИЙ(F2: F19;1)`.

У результаті в комірку F21 буде міститися номінальне значення потужності двигуна.

На рис. 4.5 показана права частина робочого аркуша «Двигатель 1».

	G	H	I	J
1		Тип двигателя	Число оборотов	КПД
2		=ЕСЛИ(C2=\$F\$21;B2;" ")	=ЕСЛИ(C2=\$F\$21;D2;" ")	=ЕСЛИ(C2=\$F\$21;E2;" ")
3		=ЕСЛИ(C3=\$F\$21;B3;" ")	=ЕСЛИ(C3=\$F\$21;D3;" ")	=ЕСЛИ(C3=\$F\$21;E3;" ")
4		=ЕСЛИ(C4=\$F\$21;B4;" ")	=ЕСЛИ(C4=\$F\$21;D4;" ")	=ЕСЛИ(C4=\$F\$21;E4;" ")
5		=ЕСЛИ(C5=\$F\$21;B5;" ")	=ЕСЛИ(C5=\$F\$21;D5;" ")	=ЕСЛИ(C5=\$F\$21;E5;" ")
6		=ЕСЛИ(C6=\$F\$21;B6;" ")	=ЕСЛИ(C6=\$F\$21;D6;" ")	=ЕСЛИ(C6=\$F\$21;E6;" ")
7		=ЕСЛИ(C7=\$F\$21;B7;" ")	=ЕСЛИ(C7=\$F\$21;D7;" ")	=ЕСЛИ(C7=\$F\$21;E7;" ")
8		=ЕСЛИ(C8=\$F\$21;B8;" ")	=ЕСЛИ(C8=\$F\$21;D8;" ")	=ЕСЛИ(C8=\$F\$21;E8;" ")
9		=ЕСЛИ(C9=\$F\$21;B9;" ")	=ЕСЛИ(C9=\$F\$21;D9;" ")	=ЕСЛИ(C9=\$F\$21;E9;" ")
10		=ЕСЛИ(C10=\$F\$21;B10;" ")	=ЕСЛИ(C10=\$F\$21;D10;" ")	=ЕСЛИ(C10=\$F\$21;E10;" ")
11		=ЕСЛИ(C11=\$F\$21;B11;" ")	=ЕСЛИ(C11=\$F\$21;D11;" ")	=ЕСЛИ(C11=\$F\$21;E11;" ")
12		=ЕСЛИ(C12=\$F\$21;B12;" ")	=ЕСЛИ(C12=\$F\$21;D12;" ")	=ЕСЛИ(C12=\$F\$21;E12;" ")
13		=ЕСЛИ(C13=\$F\$21;B13;" ")	=ЕСЛИ(C13=\$F\$21;D13;" ")	=ЕСЛИ(C13=\$F\$21;E13;" ")
14		=ЕСЛИ(C14=\$F\$21;B14;" ")	=ЕСЛИ(C14=\$F\$21;D14;" ")	=ЕСЛИ(C14=\$F\$21;E14;" ")
15		=ЕСЛИ(C15=\$F\$21;B15;" ")	=ЕСЛИ(C15=\$F\$21;D15;" ")	=ЕСЛИ(C15=\$F\$21;E15;" ")
16		=ЕСЛИ(C16=\$F\$21;B16;" ")	=ЕСЛИ(C16=\$F\$21;D16;" ")	=ЕСЛИ(C16=\$F\$21;E16;" ")
17		=ЕСЛИ(C17=\$F\$21;B17;" ")	=ЕСЛИ(C17=\$F\$21;D17;" ")	=ЕСЛИ(C17=\$F\$21;E17;" ")
18		=ЕСЛИ(C18=\$F\$21;B18;" ")	=ЕСЛИ(C18=\$F\$21;D18;" ")	=ЕСЛИ(C18=\$F\$21;E18;" ")
19		=ЕСЛИ(C19=\$F\$21;B19;" ")	=ЕСЛИ(C19=\$F\$21;D19;" ")	=ЕСЛИ(C19=\$F\$21;E19;" ")
20				
21		=ПРОСМОТР(F21;C2:C19;H2:H19)	=НАИБОЛЬШИЙ(I2:I19;1)	=НАИБОЛЬШИЙ(J2:J19;1)
22				

Рис. 4.5

Введемо в комірку H2 формулу
`=ЕСЛИ(C2=F21;D2;" ")`

та заповнимо комірку H3:H19. Буде обраний тип двигуна, що відповідає значенню потужності в комірці F21.

В комірку H21 введемо формулу
`=ПРОСМОТР(F21;C2:C19;H2:H19)`.

У результаті буде обраний тип двигуна, що відповідає значенню потужності в комірці F21.

Введемо в комірку I2 формулу
`=ЕСЛИ(C7=F21;B7;" ")`,

за допомогою якої виберемо число обертів обраного двигуна. Перенесемо це значення в комірку I21.

Аналогічно обробимо комірки J2:J19 та перенесемо в комірку J21 значення коефіцієнта корисної дії.

У головному меню оберемо **Сервіс-Параметры-Вид** (Сервіс - Параметри – Вид) та у вікні формули знімемо прапорець.

Остаточно робочий лист набуде вигляду, що показаний на рис. 4.6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	1							Тип двигателя	Число оборотов	КПД	
2		4AА63A4Y3	0,25	1380	0,68						
3		4AА63B4Y3	0,37	1365	0,68						
4		4A71A4Y3	0,55	1390	0,705						
5		4A100S8/6/4	0,7	700	0,59						
6		4A71B4Y3	0,75	1390	0,72						
7		4A100L8/6/4	0,9	700	0,61						
8		4A80A4Y3	1,1	1420	0,75	1,1		4A80A4Y3	1420	0,75	
9		4A112MA8/6/4	1,1	710	0,65	1,12					
10		4A112MB8/6/4	1,4	720	0,635	1,4					
11		4A80B4Y3	1,5	1415	0,77	1,5					
12		4A90L4Y3	2,2	1425	0,8	2,2					
13		4A100L4Y3	3,0	1435	0,82	3					
14		4A100S43	4,0	1430	0,84	4					
15		4A112M43	5,6	1445	0,855	5,6					
16		4A132S43	7,5	1455	0,875	7,5					
17		4A180M8/6/4	8,0	730	0,78	8					
18		4A132M43	11,0	1460	0,875	11					
19		4A160S43	15,0	1465	0,895	15					
20											
21			Мощность двигателя			1,1		4A80A4Y3	1420	0,75	

Рис. 4.6

4.4.2.3. Вбудовування Excel-компонента в Mathcad

Перейдемо в Mathcad та оберемо в головному меню **Вставка – Компонент**. З'явиться вікно **Мастер компонентов** (Майстер компонентів), в якому оберемо компонент Excel (рис. 4.3) та натиснемо на кнопку **Next**.

З'явиться вікно **Мастер Установки Excel** (Майстер Встановлювання Excel) (рис. 4.7), в якому встановимо перемикач

Создать из файла (Створити з файлу) та клацнемо по кнопці Обзор.

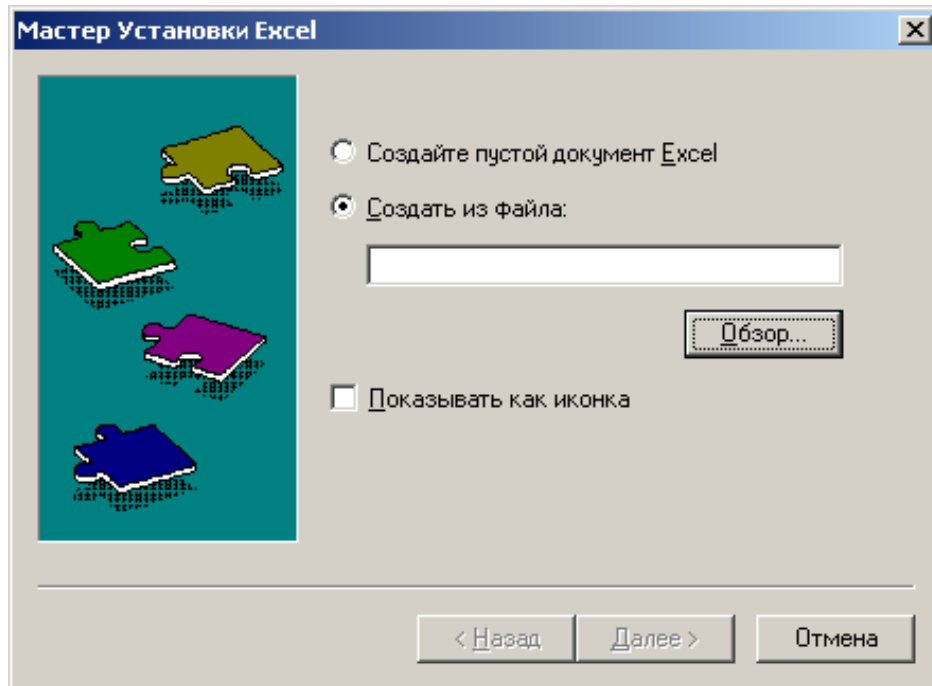


Рис. 4.7

У вікні **Open Worksheet** оберемо файл «Двигатель1» та натиснемо на кнопку **Открыть** (Відкрити) (рис. 4.8). Знов з'явиться **Мастер Установки Excel**, в якому буде вказано шлях до файлу «Двигатель1» (рис. 4.9). Натиснемо на кнопку **Далее** (Далі).

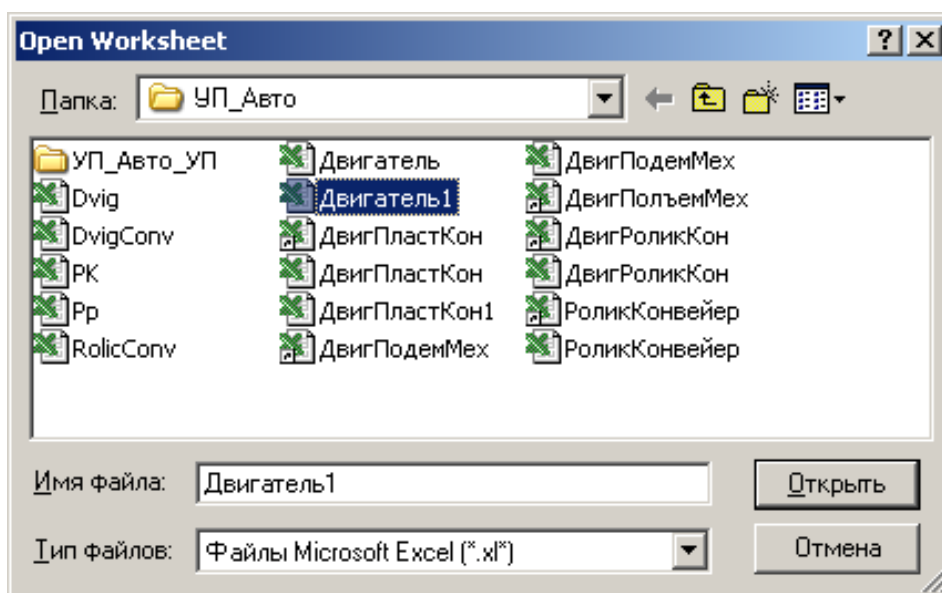


Рис. 4.8

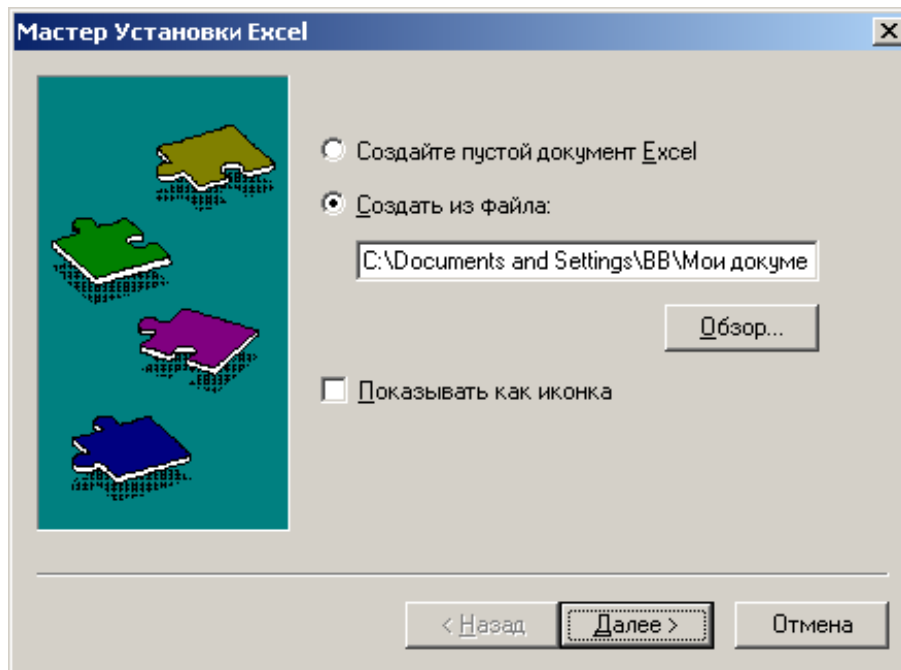


Рис. 4.9

З'явиться вікно **Мастер Установки Excel** (рис. 4.10), в якому у вікні **Вводы** (Введення) введемо 1, у вікні **Input** ім'я комірки A1. У вікні **Выводы** (Виведення) введемо число комірок, в яких будуть виводитися тип та параметри двигуна (4), у вікні **Output** – імена комірок F21, H21, I21, J21.

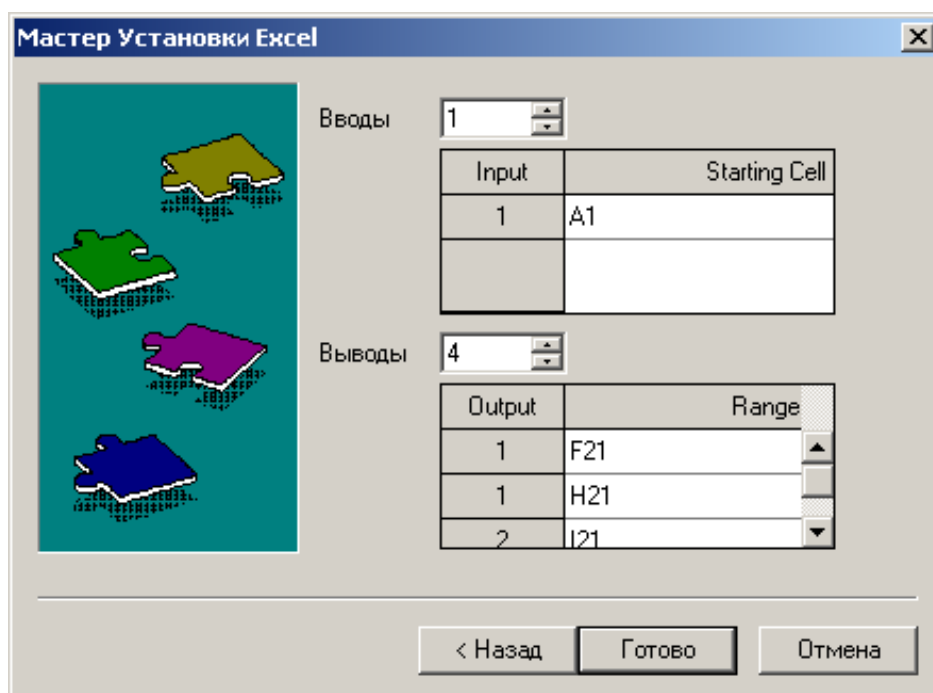


Рис. 4.10

0					Тип двигателю	Число оборотів	КПД
	4AA63A4Y	0,3	1380	0,68			
4AA63B4Y	0,4	1365	0,68				
4A71A4Y3	0,6	1390	0,705	0,55	4A71A4Y3	1390	0,705
4A100S8/6	0,7	700	0,59	0,71			
4A71B4Y3	0,8	1390	0,72	0,75			
4A100L8/6	0,9	700	0,61	0,9			
4A80A4Y3	1,1	1420	0,75	1,1			
4A112MA8	1,1	710	0,65	1,12			
4A112MB8	1,4	720	0,635	1,4			
4A80B4Y3	1,5	1415	0,77	1,5			
4A90L4Y3	2,2	1425	0,8	2,2			
4A100L4Y3	3,0	1435	0,82	3			
4A100S43	4,0	1430	0,84	4			
4A112M43	5,6	1445	0,855	5,6			
4A132S43	7,5	1455	0,875	7,5			
4A180M8/6	8,0	730	0,78	8			
4A132M43	11,0	1460	0,875	11			
4A160S43	15,0	1465	0,895	15			
Мощность двигателя				0,55	4A71A4Y3	1390	0,705

P

Рис. 4.12

Таким чином, обрані такі параметри двигуна

$$P_n = 0.55$$

$$D_v = "4\text{A}71\text{A}4\text{Y}3"$$

$$n_o = 1.39 \times 10^3$$

$$KPD = 0.705$$

4.5. Розрахунок потужності двигунів та параметрів роликів конвеєрів

При розрахунку роликів конвеєрів виникає ситуація, при якій розрахункові значення параметрів не збігається зі стандартним значенням. У цьому випадку розрахункові значення варто приймати рівним найближчому стандартному значенню.

Будемо розглядати вибір стандартного значення на прикладі вибору кроку ланцюга, що пов'язує ролики за допомогою зірочок. Зірочки насаджені на вали.

Припустимо, що в процесі розрахунку визначене значення кроку ланцюга дорівнює $t = 0.062$.

Завдання полягає в автоматичному виборі стандартного значення кроку ланцюга, що було б найбільш близьким до розрахункового значення.

Створимо таблицю Excel (рис. 4.13). У комірки B2:B12 введемо стандартні значення кроку ланцюга, що зв'язує ролики. У комірках 32:312 виконаємо переведення міліметрів у метри. Введемо в комірку D2 формулу

$$=ABS(C2-\$A\$2)$$

та за допомогою маркера заповнення введемо формули в інші комірки.

	A	B	C	D	E
1					
2	0,146	50	=B2/1000	=ABS(C2-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D2=\$D\$14;C2;"")
3		60	=B3/1000	=ABS(C3-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D3=\$D\$14;C3;"")
4		80	=B4/1000	=ABS(C4-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D4=\$D\$14;C4;"")
5		100	=B5/1000	=ABS(C5-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D5=\$D\$14;C5;"")
6		125	=B6/1000	=ABS(C6-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D6=\$D\$14;C6;"")
7		200	=B7/1000	=ABS(C7-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D7=\$D\$14;C7;"")
8		250	=B8/1000	=ABS(C8-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D8=\$D\$14;C8;"")
9		315	=B9/1000	=ABS(C9-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D9=\$D\$14;C9;"")
10		400	=B10/1000	=ABS(C10-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D10=\$D\$14;C10;"")
11		500	=B11/1000	=ABS(C11-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D11=\$D\$14;C11;"")
12		630	=B12/1000	=ABS(C12-\$A\$2)	=ЕСЛИ(D12=\$D\$14;C12;"")
13					
14				=НАИМЕНЬШИЙ(D2:D12;1)	=СУММ(E2:E12)
15					
16					

Рис. 4.13

У комірку D14 введемо формулу
 $=НАИМЕНЬШИЙ(D2:D12;1)$.

У цю комірку буде введене найменше значення однієї з комірок діапазону D2:D12.

У комірку E2 введемо формулу

=ЕСЛИ(D2=\$D\$14;C2;"")

та за допомогою маркера заповнення введемо формули в інші комірки діапазону E2:E12. В одній з комірок E2:E12 буде перебувати таке значення стандартного ряду кроку ланцюга, що відповідає мінімальній різниці між розрахунковим та стандартним значеннями. Інші комірки будуть порожніми.

Введемо в комірку E14 формулу

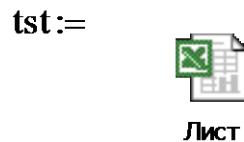
=СУММ(E2:E12).

У результаті в цій комірці буде знаходитися стандартне значення кроку ланцюга. Наприклад, якщо в A2 буде передано розрахункове значення 0,14, то таблиця буде мати вигляд, що показаний на рис. 4.14.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	0,14	50	0,05	0,09			
3		60	0,06	0,08			
4		80	0,08	0,06			
5		100	0,1	0,04			
6		125	0,125	0,015	0,125		
7		200	0,2	0,06			
8		250	0,25	0,11			
9		315	0,315	0,175			
10		400	0,4	0,26			
11		500	0,5	0,36			
12		630	0,63	0,49			
13							
14				0,015	0,125		
15							
16							

Рис. 4.14

При вбудовуванні Excel-компонента в Mathcad не обов'язково показувати таблицю Excel у документі Mathcad. Якщо в процесі вбудовування таблиці Excel у документі Mathcad встановити перемикач у вікні **Показать как иконку** (Показати як іконку) (рис. 4.9), то в документі Mathcad замість таблиці буде показана піктограма (іконка), як показано на рис. 4.15.



t
tst = 0.06

Рис. 4.15

Ліворуч від значка Excel показана вихідна змінна (у цьому випадку tst), значення якої можна вивести звичайним чином (рис. 4.15).

Нижче наведений текст Mathcad - документа.

Розрахунок потужності двигуна та параметрів роликового конвеєра

Основні параметри роликових конвеєрів:

- довжина циліндричних роликів B, мм: 160, 200, 250, 320, 400, 500, 650, 800, 1000, 1200;
- крок розміщення роликів I_p: 50, 60, 80, 100, 125, 200, 250, 315, 400, 500, 630 ;
- діаметр роликів d_p, мм: 40 57 73 105 155;
- вага роликів G_p, Н: 11..35 27..53 32..110 80..300
92..460;
- швидкість руху деталей v, м/с: 0,08; 0,1; 0,125; 0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1;
- крок тягового ланцюга t, мм: 50; 60; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 310; 400; 500; 630; 800

Вихідні дані:

- швидкість руху конвеєра, м/с	$v := 0.1$
- кількість виробів, що одночасно переміщуються, шт.	$\theta := 5$
- вага виробу, Н	$G_{\theta} := 588$
- діаметр роликів, м	$d_p := 0.105$
- вага ролика, Н	$G_p := 53$
- довжина циліндричних роликів, м	$B := 0.5$
- відстань між виробами на конвеєрі (0.5...2 м)	$l := 1$
- довжина виробу, м	$L_{\theta} := 0.382$
- коефіцієнт опору руху: 0.3-0.4 при ковзанні тягового ланцюга: по напрямних	0.12-0.16
при переміщенні тягового органа по роликах з підшипниками ковзання	0.05-0.08
при переміщенні тягового органа по роликах з підшипниками кочення	$w := 0.3$
- ККД передачі	$\eta_p := 0.94$
- число зубів - зірочок	$z := 5$

Приймаємо $D_{\zeta} := d_p$ $D_{\zeta} = 0.105$

Крок ланцюга, що пов'язує ролики за допомогою зірочок, насаджених на їхні вали, м

$$t := d_p \cdot \sin\left(\frac{\pi}{z}\right) \quad t = 0.062$$

Обираємо стандартне значення кроку, близьке до розрахункового

$t_{st} :=$



Лист

t

$$t_{st} = 0.06$$

Стандартне значення кроку ланцюга, близьке до розрахункового

$$t := tst \quad t = 0.06$$

Довжина конвеєра, м

$$L := \theta \cdot (L_{\dot{\epsilon}} + l) + d_p \quad L = 7.015$$

Крок розміщення роликів, м

$$l_p := 2 \cdot d_p \quad l_p = 0.21$$

Обираємо стандартне значення кроку розміщення роликів, близьке до розрахункового

$$K_p :=$$



Л И С Т

$$l_p$$

$$K_p = 0.2$$

Стандартне значення кроку розміщення роликів, близьке до розрахункового

$$l_p := K_p \quad l_p = 0.2$$

Число роликів

$$n_p := \frac{L - d_p}{l_p} \quad n_p = 34.55$$

$$n_p := \text{ceil} \left(\frac{L - d_p}{l_p} \right) \quad n_p = 35$$

Сила опору руху при огинанні тяговим органом зірочки, Н

$$W_k := \pi \cdot B + 1.2 \cdot L \quad W_k = 9.989$$

Сумарний опір руху, Н

$$W := \left(n_p \cdot G_p + \frac{G_{\dot{\theta}} \cdot l_p \cdot \theta}{L_{\dot{\theta}}} \right) \cdot w + W_k \quad W = 1.028 \times 10^3$$

Потужність електродвигуна, кВт

$$P := \frac{W \cdot z}{1000 \cdot \eta_p} \quad P = 5.47$$

Обираємо тип двигуна з умови перевищення його номінальної потужності над розрахунковою

$$\dot{I} \geq P$$

$$\begin{pmatrix} M \\ TipD \\ Ob \\ KPD \end{pmatrix} := \text{лист}$$

P

Потужність двигуна	$M = 5.6$
Тип двигуна	$TipD = "4\text{A}112\text{M}4\text{C}"$
Число обертів	$Ob = 1.445 \times 10^3$
ККД	$KPD = 0.855$

4.6. Розрахунок потужності двигунів та параметрів підйомних механізмів

Вихідні дані:

v - швидкість переміщення вантажу (0.105...333 м/с),	$v := 0.105$
L - довжина кожуха поперек шляхів, м	$L := 2.1$
H - висота кожуха, м	$H := 2.1$
B - ширина кожуха вздовж шляху, м	$B := 0.7$
h - приведена товщина металу (0.002...0.003 м),	$h := 0.002$
ρ_c - щільність сталі	$\rho_c := 7850$
G_3 - вага захватного пристосування (50...500 Н),	$G_\zeta := 100$
m - кратність поліспасти	$m := 4$
K_1 - коефіцієнт запасу міцності каната (4...6)	$K_1 := 6$
K_2 - коефіцієнт, що залежить від типу вантажопідйомної машини та режиму роботи (16...35)	$K_2 := 20$
η_n - ККД передачі	$\eta_n := 0.94$
l_n - висота підйому вантажу (кожуха, дверей), м	$l_n := 1.5$
g - прискорення вільного падіння, м/с ²	$g := 9.8$

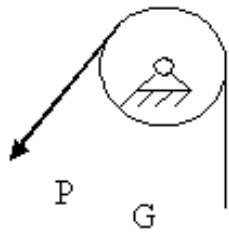
Об'єм металу кожуха, м³

$$V := (3 \cdot L \cdot H + 2 \cdot B \cdot H) \cdot h$$

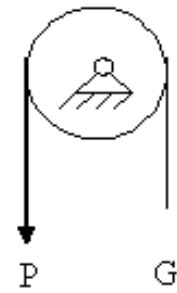
Вага виробу: для кожуха та дверей мийних машин

$$G_\zeta := V \cdot \rho_c \cdot g \qquad G_\zeta = 2.488 \times 10^3$$

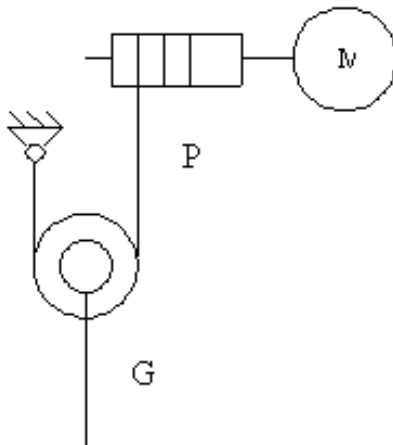
На рис. 4.16 показані деякі типи блоків та поліспастів, що застосовуються при автоматизації ремонту вагонів.



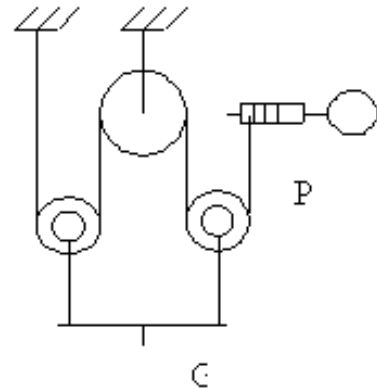
Ñõàìà 1



Ñõàìà 2



Ñõàìà 3



Ñõàìà 4

Рис. 4.16

Введіть номер типу схеми:

$Tip := 1$

Сумарний опір руху залежить від типу обраної схеми:

$$W := \begin{cases} (G_{\dot{\varrho}} + G_{\zeta}) & \text{if } Tip = 1 \\ (G_{\dot{\varrho}} + G_{\zeta}) & \text{if } Tip = 2 \\ [0.5 \cdot (G_{\dot{\varrho}} + 2 \cdot G_{\zeta})] & \text{if } Tip = 3 \\ \frac{(G_{\dot{\varrho}} + 3 \cdot G_{\zeta})}{m \cdot \eta_n} & \text{otherwise} \end{cases} \quad W = 2.588 \times 10^3$$

Розривне зусилля, Н

$$P_{\delta\hat{a}\zeta} := K_I \cdot W \quad P_{\delta\hat{a}\zeta} = 1.553 \times 10^4$$

Діаметр каната, мм

$$d_k := 0.0016 \cdot P_{\delta\hat{a}\zeta} \quad d_k = 24.844$$

Діаметр блока (барабана), мм

$$D_{\hat{a}} := K_2 \cdot d_k \quad D_{\hat{a}} = 496.88$$

Потужність електродвигуна, кВт

$$P := \frac{W \cdot v}{1000 \cdot \eta_n} \quad P = 0.289$$

Виберіть тип двигуна з умови перевищення його номінальної потужності над розрахунковою:

$$P_n \geq P$$

$$\begin{pmatrix} P_n \\ \text{Тип}D \\ n_o \\ KPD \end{pmatrix} := \text{Лист}$$

P

Потужність двигуна

$$P_n = 0.37$$

Тип двигуна

$$\text{Тип}D = "4\hat{A}63\hat{A}4\hat{O}\zeta"$$

Число обертів

$$n_o = 1.365 \times 10^3$$

ККД

$$KPD = 0.68$$

4.7. Розрахунок пневматичного приводу

Центральною частиною розрахунку пневматичного приводу є вибір внутрішнього діаметра циліндра.

Підбір діаметра циліндра виконують методом ітерацій з умови

$$P \geq P_T,$$

де P – зусилля, що розвиває пневмопривід,

$$P = \frac{\pi p D^2 f_0}{4 \mu_u} - \frac{\pi p_c (D^2 - d_{\phi\delta}^2)}{4};$$

P , – технологічне зусилля (зусилля корисної роботи).

Діаметр штока приблизно приймають рівним $d_{шт} \approx 0.3 \cdot D$, де D – діаметр циліндра.

Покажемо, яким чином можна автоматизувати процес підбору діаметра циліндра.

Відкриємо Mathcad та в головному меню виберемо **Вид – Панелі інструментів – Программирование** (Вид – Панелі інструментів – Програмування). Відкриється панель інструментів **Programming** (рис. 4.17).

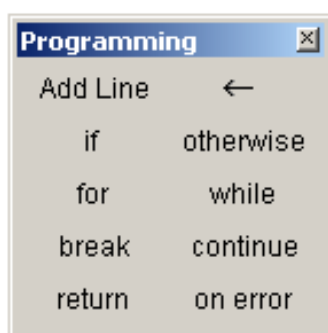


Рис. 4.17

За допомогою панелі інструментів Programming введемо програму:

$$Dn(p, f_0, \mu_u, \rho_c, \pi, P_T) := \left| \begin{array}{l} D \leftarrow 0.045 \\ \text{while } P_T > \frac{\pi \cdot p D^2 \cdot f_0}{4 \cdot \mu_u} - \frac{\pi \cdot \rho_c \cdot [D^2 - (0.3 \cdot D)^2]}{4} \\ D \leftarrow D + 0.005 \end{array} \right.$$

У програмі використовуються такі оператори:

Add Line – додає рядок програми;

\leftarrow виконує внутрішнє локальне присвоєння. У цьому випадку змінної привласнюється початкове значення 0.045;

while – оператор циклу. При натисканні на кнопку **while** з'являється шаблон циклу: слово **while** із двома квадратиками. У квадратику, праворуч від **while**, потрібно записати колишній вираз, що управляє циклом, а в другому квадратику (нижче **while**) – тіло циклу.

Таким чином, змінна D буде нарощуватися з кроком 0.005 до тих пір, поки P не стане більше за P_T .

Розрахункове значення, що при цьому отримано, варто округлити в більший бік до найближчого стандартного значення. Така процедура була описана в п. 4.5.

Текст Mathcad-документа наведений нижче.

Пневматичний привід

Основні стандартні параметри циліндрів:

D , м: 0.045; 0.050; 0.065; 0.075; 0.090; 0.105; 0.120; 0.150; 0.165; 0.175; 0.200; 0.225; 0.250; 0.300; 0.350; 0.400; 0.500;

$d_{шт}$, м: 0.004; 0.005; 0.008; 0.01; 0.012; 0.016; 0.020; 0.025; 0.032; 0.040; 0.050; 0.063; 0.080; 0.1; 0.125; 0.160; 0.200; 0.320.

Вихідні дані:

Робочий тиск стисненого повітря (для пневмоприводів $p=4 \cdot 10^5$ Н/м²)

$$p := 4 \cdot 10^5$$

Протитиск у вихлопній камері (для пневмоприводів $p_c=0,3 \cdot p$)

$$p_c := 0.3 \cdot p \quad p_c = 1.2 \times 10^5$$

Коефіцієнт, що враховує тертя в пристроях ущільнення (0.8...0.9), $f_0 := 0.8$

Коефіцієнт, що враховує інерційні сили (1.1...1.3), $\mu_u := 1.1$

Щільність сталі, кг/м³ $\rho_c := 7850$

Коефіцієнт запасу міцності (1.1...1.3) $m := 1.1$

Напруги, що допускаються, для вуглецевих сталей $10000..12000 \cdot 10^5$ Н/м²;

для легованих сталей $11000...40000 \cdot 10^5$ Н/м² $\sigma := 11000 \cdot 10^5$

Коефіцієнт витрати через отвір (0.4...0.9) $\mu := 0.5$

Технологічне зусилля (зусилля корисної роботи), Н $P_T := 12000$

Хід поршня, м, приймається конструктивно залежно від характеру роботи, що виконується. Для поворотних пристроїв $S := 0.5$

З умови $P > P_T$ знаходимо розрахункове значення діаметра циліндра.

Розрахункове значення діаметра циліндра

$$Dn(p, f_0, \mu_u, \rho_c, \pi, P_T) := \begin{cases} D \leftarrow 0.045 \\ \text{while } P_T > \frac{\pi \cdot p D^2 \cdot f_0}{4 \cdot \mu_u} - \frac{\pi \cdot \rho_c \cdot [D^2 - (0.3 \cdot D)^2]}{4} \\ D \leftarrow D + 0.005 \end{cases}$$

$$Dn(p, f_0, \mu_u, \rho_c, \pi, P_T) = 0.235$$

$$D := Dn(p, f_0, \mu_u, \rho_c, \pi, P_T) \quad D = 0.235$$

Розрахункове значення діаметра штока

$$d_{\phi\delta} := 0.3 \cdot D \quad d_{\phi\delta} = 0.071$$

Стандартне значення внутрішнього діаметра циліндра, м

$D_c :=$



Лист

D

$$D_c = 0.25 \quad D := D_c \quad D = 0.25$$

Обираємо стандартне значення діаметра штока

$D_{st} :=$



Лист

$d_{шт}$

Остаточно приймаємо

$$D := D_c$$

$$D = 0.25$$

$$d_{\phi\delta} := D_{st}$$

$$d_{\phi\delta} = 0.08$$

Зусилля, що розвиває привід,

$$P := \frac{\pi \cdot p \cdot D^2 \cdot f_0}{4 \cdot \mu_u} - \frac{\pi \cdot \rho_c \cdot (D^2 - d_{\phi\delta}^2)}{4} \quad P = 1.393 \times 10^4$$

Товщина стінки днища (кришки) циліндра, м

$$\delta := \sqrt{\frac{6 \cdot p \cdot D^2}{32 \cdot \sigma}} \quad \delta = 2.064 \times 10^{-3}$$

Зовнішній діаметр циліндра, м

$$D_f := m \cdot D \cdot \sqrt{\frac{\sigma + p}{\sigma - p}} \quad D_f = 0.275$$

Приймаємо висоту поршня, м $B := 0.75 \cdot D$
 Довжина корпусу циліндра, м

$$L_k := 2 \cdot \delta + B + S \qquad L_k = 0.692$$

Вага корпусу циліндра, Н

$$G_k := \rho_c \cdot g \cdot \left[L_k \cdot \frac{\pi \cdot (D_i^2 - D^2)}{4} \right] + \frac{2 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \delta}{4} \qquad G_k = 550.776$$

Вага плунжерної пари (штока та поршень); довжину штока приймаємо $l_{шт} = 1.5 \cdot S$)

$$G_{i\phi} := \frac{\pi \cdot \rho_c \cdot g}{4} \cdot (0.75 \cdot D^3 + 1.5 \cdot S \cdot d_{\phi\delta}^2) \qquad G_{i\phi} = 998.074$$

Безрозмірне навантаження на привід

$$\chi := \frac{1.58 \cdot P_T}{(p + 1 \cdot 10^5) \cdot D^2} \qquad \chi = 0.607$$

Діаметр отворів (0.06...0.15), м $d := 0.07$.

Безрозмірний конструктивний параметр N_k визначається залежно від конструкції приводу. Якщо корпус рухливий, то у формулу замість G підставляють G_k ; якщо рухлива плунжерна пара, то замість G підставляють $G_{ни}$.

Тип конструкції приводу:

1 – рухливий корпус; $G = G_k$;

2 – рухлива плунжерна пара; $G = G_{ни}$

Введіть номер типу конструкції

$TipConst := 2$

$$G := \begin{cases} G_k & \text{if } TipConst = 1 \\ G_{i\phi} & \text{if } TipConst = 2 \end{cases} \qquad G = 998.074$$

Безрозмірний конструктивний параметр

$$N_k := \frac{275.14 \cdot \mu \cdot d^2}{D^3} \cdot \sqrt{\frac{G}{(p + 1 \cdot 10^5) \cdot S}} \quad N_k = 2.726$$

Відносний час переміщення поршня

$$\tau := \begin{cases} \frac{4.7}{1 - 0.9 \cdot \chi} & \text{if } N_k < 1 \\ \frac{2.48 \cdot N_k + 7.1}{2 - 1.8 \cdot \chi} & \text{if } N_k > 1 \end{cases} \quad \tau = 15.266$$

Тривалість переміщення поршня, с

$$t_{\zeta} := \frac{1.31 \cdot S \cdot D^2 \cdot \tau}{1000 \cdot \mu \cdot d^2} \quad t_{\zeta} = 0.255$$

4.8. Розрахунок гідравлічного приводу

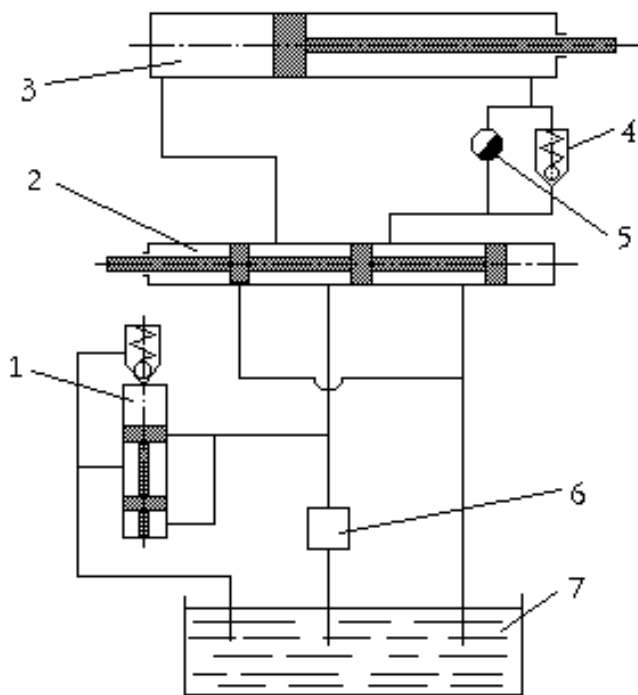
Принцип роботи.

Масило від безупинно працюючого насоса 6 (рис. 4.18) надходить через реверсивний золотник 2 у ліву порожнину циліндра. Масило, що витісняє із правої порожнини циліндра, може проходити в реверсивний золотник тільки через дросель 5, оскільки зворотний клапан 4 утримується в закритому положенні пружиною та тиском мастила.

Дроселюванням рідини забезпечується повільний робочий хід гідроприводу. Зміною перетину прохідного отвору дроселя регулюють привід на необхідну швидкість переміщення.

Запобіжний клапан з переливним золотником 1 знижує та підтримує тиск у системі на заданому рівні, направляючи при цьому частину рідини на злив у бак 7. Коли поршень 3 зі штоком дійдуть до упору, подача мастила в циліндр припиниться, а насос буде продовжувати роботу. При цьому вся рідина через

переливний золотник 1, що автоматично відкривається, буде направлятися на злив.



При зміні напрямку потоку рідини від насоса 6 шляхом перемикання реверсивного золотника 2 мастило може вільно проходити в праву порожнину циліндра, минаючи дросель 5 через зворотний клапан 4. Шунтування дроселя 5 зворотним клапаном 4 забезпечує швидке переміщення поршня циліндра у зворотному напрямку.

Рис. 4.18

Умова рівноваги для поршня гідроциліндра

$$p \cdot F_n = T + p_c \cdot F + F_{тр} ,$$

де p_c – протитиск, $p_c = (1.5 \cdot 10^5 - 2.5 \cdot 10^5) \text{ Н/м}^2$; F – активна площа поршня з боку штока, м^2 ; F_n – площа поршня в робочій порожнині, м^2 ; p – робочий тиск, Н/м^2 ; $F_{тр}$ – сила тертя, Н ,

$$F_{тр} = 0.1 \cdot (p + 1 \cdot 10^5) \cdot F_n .$$

За допомогою команди **Substitute** підставимо $F_{тр}$ в рівняння рівноваги поршня.

Після підстановки одержимо

$$T + p_c \cdot F + F_{тр} \text{ substitute, } F_{тр} = (p + 1 \cdot 10^5) F_n \rightarrow T + p_c \cdot F + (.1 \cdot p + 10000.0) \cdot F_n .$$

Процес підстановки детально описаний у п. 1.4.

Розв'язання рівняння виконаємо в символному вигляді (див. п. 1.4). Результат розв'язання рівняння рівноваги відносно p показаний після знака символної рівності \rightarrow :

$$p \cdot F_n = T + p_c \cdot F + (1 \cdot p + 10000.0) \cdot F_n \text{ solve, } p \rightarrow 1.1111111111111111 \cdot \frac{(T + p_c \cdot F + 10000.0 \cdot F_n)}{F_n}$$

Нижче наводиться текст Mathcad-документа.

Розрахунок гідравлічного приводу

Вихідні дані:

- $T := 810$ - зусилля, що повинен розвивати гідроциліндр, Н
- $S := 0.5$ - хід поршня, м
- $t := 3$ - тривалість переміщення поршня, с
- $v := 4$ - швидкість руху рідини в трубопроводі, м/с
- $\sigma := 1100 \cdot 10^5$ - допустима напруга матеріалу циліндра, Н/м²
- $D := 0.1$ - внутрішній діаметр гідро циліндра, м

Діаметр штока, м $d_{шт} := 0.5 \cdot D$ $d_{шт} = 0.05$

Площа поршня в робочій порожнині, м²

$$F_n := \frac{3.14 \cdot D^2}{4} \quad F_n = 7.85 \times 10^{-3}$$

Активна площа поршня з боку штока, м²

$$F := F_n - \frac{3.14 \cdot d_{шт}^2}{4} \quad F = 5.8875 \times 10^{-3}$$

Величина робочого тиску, Н/м²

$$p := 1.1 \cdot \frac{(T + p_c \cdot F + 10000.0 \cdot F_n)}{F_n} \quad p = 2.895 \times 10^5$$

Тиск, що має розвивати насос, повинен бути більше робочого тиску внаслідок втрат тиску через місцеві опори. Приблизно втрати тиску через місцеві опори врахуємо введенням коефіцієнта.

Прийmemo значення цього коефіцієнта $\eta := 0.9$

Тоді тиск, що має розвивати насос, $\text{Н} / \text{м}^2$, можна визначити за формулою

$$p_H := \frac{p}{\eta} \quad p_H = 3.217 \times 10^5$$

Швидкість переміщення поршня, $\text{м} / \text{с}$

$$v_n := \frac{S}{t} \quad v_n = 0.167$$

Витрата рідини, $\text{м}^3 / \text{с}$

$$Q := F_n \cdot v_n \quad Q = 1.308 \times 10^{-3}$$

Подача (продуктивність насоса), $\text{м}^3 / \text{с}$

$$\eta_0 := 0.9 \quad Q_H := \frac{Q}{\eta_0} \quad Q_H = 1.454 \times 10^{-3}$$

Потужність електродвигуна насоса, кВт

$$N := p_H \cdot \frac{Q_H}{1000} \quad N = 0.468$$

Застосовуємо трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором.

Знаючи робочий тиск у гідроциліндрі та внутрішній діаметр, визначимо зовнішній діаметр циліндра з умови міцності. Вважаємо, що гідроциліндр виготовлений з вуглецевої сталі. Коефіцієнт запасу міцності m приймаємо рівним

$$m := 1.2$$

$$D_H := m \cdot D \cdot \sqrt{\frac{\sigma + \rho}{\sigma - \rho}} \quad D_H = 0.12$$

Для розподілу рідини застосовуємо двопозиційний гідравлічний розподільник з електромагнітним керуванням та пружинним поверненням.

Приймаємо час спрацювання розподільника, сек.,

$$t_1 := 0.06$$

Визначаємо тривалість повернення поршня у вихідне положення, с

$$t_{ox} := S \cdot 3.14 \cdot \frac{D^2 - d_{шт}^2}{4 \cdot Q} \quad t_{ox} = 2.25$$

Тривалість робочого циклу, с

$$t_{ц} := t_1 + t + t_{ox} \quad t_{ц} = 5.31$$

Визначаємо діаметр трубопроводу, м

$$d_T := \sqrt{4 \cdot \frac{Q}{3.14 \cdot v}} \quad d_T = 0.02$$

5. ЗАСТОСУВАННЯ МАТНСАД ТА ЕХСЕЛ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ У ЗАДАЧАХ ВАГОННОГО ГОСПОДАРСТВА

5.1. Розрахунок чисельності робітників пункту технічного обслуговування вагонів

5.1.1. Середні витрати праці на огляд та безвідчепний ремонт одного складу

Середні необхідні витрати праці $N_{тр}$ залежать від довжини складу, структури робочого парку та середньої трудомісткості технічного обслуговування вагонів даного типу.

Для наближених розрахунків ПТО сортувальних і великих дільничних станцій можна користуватися способом визначення значення $N_{\text{тр}}$ за усередненими витратами праці на відновлення працездатності вагонів (включаючи профілактичне обслуговування) на підставі випробувальних експлуатаційних поїздок. Так, при відновленні працездатності одного вагона в поїздах місцевого формування середні витрати праці h_j становлять (люд.хв):

чотиривісний піввагон.....	$hm_1 := 18.6 ;$
чотиривісний критий.....	$hm_2 := 16.4 ;$
чотиривісна платформа	$hm_3 := 14.8 ;$
чотиривісна цистерна	$hm_4 := 11.1 ;$
чотиривісний ізотермічний вагон	$hm_5 := 11.1 ;$
інші вагони.....	$hm_6 := 16 .$

При обслуговуванні транзитних поїздів у парках відправлення середні витрати праці на відновлення працездатності одного вагона (люд.хв):

чотиривісний піввагон	$ht_1 := 15.1 ;$
чотиривісний критий.....	$ht_2 := 13.3 ;$
чотиривісна платформа	$ht_3 := 11.7 ;$
чотиривісна цистерна.....	$ht_4 := 9.2 ;$
чотиривісний ізотермічний вагон.....	$ht_5 := 9.2 ;$
інші вагони.....	$ht_6 := 13 .$

Середнє число чотиривісних вагонів у складі $m := 55.$

Частка кількості вагонів j -го типу транзитних поїздів (враховуючи структуру парку):

чотиривісний піввагон.....	$\alpha_1 := 0.38 ;$
----------------------------	----------------------

чотиривісний критий.....	$\alpha_2 := 0.30$;
чотиривісна платформа.....	$\alpha_3 := 0.12$;
чотиривісна цистерна.....	$\alpha_4 := 0.16$;
чотиривісний ізотермічний вагон.....	$\alpha_5 := 0.03$;
інші вагони.....	$\alpha_6 := 0.01$.

Середні витрати праці на відновлення працездатності одного складу місцевого формування:

$$H_{t\text{мин}} := m \cdot \sum_{j=1}^r \alpha_j \cdot hm_j \quad H_{t\text{мин}} = 881.815 \text{ ЛЮД.ГОД};$$

$$H_m := \frac{H_{t\text{мин}}}{60} \quad H_m = 14.697 \text{ ЛЮД.ГОД.}$$

Середні витрати праці на відновлення працездатності одного складу транзитного поїзда:

$$H_{t\text{мин}} := m \cdot \sum_{j=1}^r \alpha_j \cdot ht_j \quad H_{t\text{мин}} = 715.55 \text{ ЛЮД.ГОД};$$

$$H_t := \frac{H_{t\text{мин}}}{60} \quad H_t = 11.926 \text{ ЛЮД.ГОД.}$$

ПТО обробляє:

транзитних складів, %, $\beta_t := 70$;
 поїздів місцевого формування, %, $\beta_m := 30$.

Середні витрати праці на відновлення працездатності одного складу:

$$H_c := \frac{H_t \cdot \beta_t + H_m \cdot \beta_m}{100} \quad H_c = 12.757 \text{ ЛЮД.ГОД}$$

5.1.2. Розрахунок чисельності робочих ремонтних бригад і тривалості обробки складів на ПТО

Середня тривалість обробки складу, год, $t_{обр} := 0.5$

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність прибуття поїздів та непродуктивні переходи ремонтних бригад, $\alpha_n := 1.15$

Потрібна (явочна) кількість працівників комплексної бригади парку прибуття та парку відправлення $R_{яв}$ визначається за формулою

$$R_{яв} := \frac{H_c \cdot \alpha_n}{t_{обр}} \quad R_{яв} = 29.341$$

Число комплексних бригад парків прибуття та відправлення сортувальних станцій визначають залежно від кількості оброблених поїздів та інтервалів їхнього прибуття й відправлення.

Введемо коефіцієнт $k_p=1$ при рівномірному підході поїздів та при великій густоті руху та $k_p=2$ при нерівномірному прибутті поїздів протягом доби:

$$k_p := 2$$

Середня кількість поїздів, що прибувають за добу,

$$N_p := 142$$

При рівномірному підході поїздів протягом доби число комплексних бригад

$$N_{бр} := \text{ceil}\left(\frac{N_p \cdot t_{обр}}{24}\right) \quad N_{бр} = 3$$

Протягом доби на станцію прибуває $N_p := 142$ поїздів, з них

$n_{p1} := 10$	поїздів прибуває з інтервалом, год,	$t_1 := 0.7$;
$n_{p2} := 12$	поїздів прибуває з інтервалом, год,	$t_2 := 0.6$;
$n_{p3} := 38$	поїздів прибуває з інтервалом, год,	$t_3 := 0.2$;
$n_{p4} := 10$	поїздів прибуває з інтервалом, год,	$t_4 := 0.15$.

Якщо інтервали прибуття поїздів більше 0,5 год, то їх приймають рівними 0,5 год.

Зважене середньоарифметичне значення інтервалу прибуття, год,

$$j_{cp} := \frac{\sum_{i=1}^4 n_{pi} \cdot t_{pi}}{N_p} \quad j_{cp} = 0.142$$

При добовій нерівномірності прибуття та великому потоці поїздів число бригад розраховують за формулою

$$N_{\tilde{op}} := \text{ceil} \left(\frac{t_{обп}}{j_{cp}} \right) \quad N_{\tilde{op}} = 4$$

Приймемо такі значення:

- середнє число переходів робітників однієї ремонтної групи вздовж частини складу за період обробки

$$L_{cp} := 1.2$$

- частка вагонів, що не вимагають ремонту, від загальної кількості вагонів у складі

$$v := 0.4$$

- середній час, що затрачується на перехід уздовж одного вагона, год,

$$t_{np} := 0.003$$

Оптимальне число вагонів, що обробляються однією ремонтною групою,

$$n_{onm} := \sqrt{\frac{t_{обп}}{L_{cp} \cdot (1 - v) \cdot t_{np}}} \quad n_{onm} = 15.215$$

За величиною n_{onm} встановлюємо число груп у бригаді: якщо склад, що обробляється, сформований з 45 вагонів, то бригаду варто створювати з трьох груп; при включенні у склади по 60 чотиривісних вагонів – із чотирьох груп.

5.1.3. Оптимальна тривалість простою складів під обробкою на ПТО

За сталою традицією тривалість обробки складів визначається графіком руху поїздів та не перевищує 30 хв на ПТО сортувальних і великих дільничних станцій та 20 хв на пунктах контрольно-технічного обслуговування.

Однак на багатьох станціях при малих розмірах руху встановлений регламент веде до перевитрат, пов'язаних з утриманням зайвого штату ремонтно-оглядових бригад. Тому має встановлюватися оптимальна тривалість простою складів під обробкою виходячи з умови забезпечення мінімуму експлуатаційних витрат на виконання операцій технічного обслуговування та поточного ремонту.

Вихідні дані:

- середнє число вагонів, що обробляються у даному парку ПТО протягом доби, $N_g := 6500$
- середнє статичне навантаження на 1 вагон, що залежить від структури вантажів, що перевозяться, $P_v := 51,4;$
- коефіцієнт порожнього пробігу на напрямку, що розглядається, $\alpha_{пор} := 0.287$
- видаткова ставка на 1 люд.год роботи з технічного обслуговування вагонів, умов.од., $e_2 := 0.7$
- видаткова ставка на 1 ваг.год простою одного чотиривісного вагона, умов.од., $e_1 := 0.06$
- середня ціна 1 т вантажу на напрямку, що розглядається, умов.од. (орієнтовно може прийматися для напрямків, на яких перевозяться переважно масові, навалочні вантажі, $C=100$ умов.од., для інших напрямків $C=180$ умов.од.), $C := 100$
- коефіцієнт, що враховує технологічно необхідний час простою складів після передачі повідомлення про технічну готовність до відправлення зі станції ($\gamma = 1.1 - 1.5$), $\gamma := 1.14$

Оптимальна тривалість простою складів під обробкою на ПТО може бути визначена за формулою

$$t_{обр.онт} := \sqrt{\frac{24 \cdot e_2 \cdot H_c}{N_в \cdot \left[e_1 + \frac{P_в \cdot (1 - \alpha_{ноп}) \cdot Ц}{8760} \right]} \cdot \gamma} \quad t_{обр.онт} = 0.246$$

Для інших вихідних даних значення може змінюватися в межах від 0,4 до 0,8 год. При більшій інтенсивності руху поїздів воно істотно зменшується. При малій інтенсивності руху простій складів під обробкою доцільно збільшувати, що дозволить скоротити чисельний склад ремонтно-оглядових бригад.

5.2. Розрахунок потреби депо в устаткуванні

Металорізальні верстати

Вихідні дані:

- тип вагона: 1 – вантажний, 2 – пасажирський $tip := 2$
- річна програма деповського ремонту (у наведених за трудомісткістю одиницях) $N_B := 1220$
- число змін $n_{sm} := 1$

Розрахунок:

- витрати станко-годин на один приведений вагон, год,

$$C_{st} := \begin{cases} 4.6 & \text{if } tip = 1 \\ 21.5 & \text{otherwise} \end{cases} \quad C_{st} = 21.5$$

- дійсний річний фонд часу роботи верстата з урахуванням змінності, год,

$$\Phi_{st} := \begin{cases} 2036 & \text{if } n_{sm} = 1 \\ 4015 & \text{if } n_{sm} = 2 \\ 5960 & \text{if } n_{sm} = 3 \end{cases} \quad \Phi_{st} = 2.036 \times 10^3$$

– коефіцієнт, що враховує потребу в обробці деталей для потреб ПТО, прикріплених до депо,

$$\alpha_{i\hat{o}\hat{i}} := 1.21$$

– коефіцієнт використання верстата в часі

$$k_{\hat{e}\hat{n}\hat{i}} := 0.85$$

– кількість верстатів у слюсарно-механічному відділенні депо визначається збільшено за витратами станко-годин на один вагон, що ремонтується, за формулою

$$n_{i\hat{a}\hat{o}} := \frac{N_B \cdot C_{st} \cdot \alpha_{i\hat{o}\hat{i}}}{\Phi_{st} \cdot k_{\hat{e}\hat{n}\hat{i}}} \quad n_{i\hat{a}\hat{o}} = 18.339$$

Верстати розподіляються по типах у такому співвідношенні:

токарно-гвинторізні	$n_{\hat{o}\hat{a}} := 1 + \text{floor}(0.32 \cdot n_{i\hat{a}\hat{o}})$	$n_{\hat{o}\hat{a}} = 6$
револьверні	$n_{\hat{\delta}} := 1 + \text{floor}(0.08 \cdot n_{i\hat{a}\hat{o}})$	$n_{\hat{\delta}} = 2$
свердлильні		
(горизонтальні та вертикальні)	$n_{\hat{n}\hat{a}} := 1 + \text{floor}(0.21 \cdot n_{i\hat{a}\hat{o}})$	$n_{\hat{n}\hat{a}} = 4$
фрезерні	$n_{\hat{o}} := 1 + \text{floor}(0.20 \cdot n_{i\hat{a}\hat{o}})$	$n_{\hat{o}} = 4$
болторізні та гайконарізні	$n_{\hat{a}} := 1 + \text{floor}(0.10 \cdot n_{i\hat{a}\hat{o}})$	$n_{\hat{a}} = 2$
інші	$n_{\hat{i}} := 1 + \text{floor}(0.09 \cdot n_{i\hat{a}\hat{o}})$	$n_{\hat{i}} = 2$

Коефіцієнт завантаження верстатів

$$\eta_m := \frac{n_{i\hat{a}\hat{o}}}{n_{\hat{o}\hat{a}} + n_{\hat{\delta}} + n_{\hat{n}\hat{a}} + n_{\hat{o}} + n_{\hat{a}} + n_{\hat{i}}} \quad \eta_m = 0.917$$

Річна програма роботи колісно-токарних верстатів

$$N_{\hat{e}\hat{o}} := N_B$$

Витрати станко-годин на обробку колісної пари

$$C_{\hat{e}\hat{o}} := \begin{cases} 1.5 & \text{if } tip = 1 \\ 2.1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Число колісно-токарних верстатів

$$n_{\hat{e}\hat{o}} := 1 + \text{floor}\left(\frac{N_{\hat{e}\hat{o}} \cdot C_{\hat{e}\hat{o}}}{\Phi_{st} \cdot k_{\hat{e}\hat{n}\hat{i}}}\right) \quad n_{\hat{e}\hat{o}} = 2$$

Для освоєння річної програми ремонту колісних пар при обмеженому числі колісно-токарних верстатів варто збільшувати число змін роботи колісно-токарного відділення

$$n_{smkt} := \begin{cases} 1 & \text{if } n_{\hat{e}\hat{o}} \leq 3 \\ 2 & \text{if } 3 < n_{\hat{e}\hat{o}} \leq 5 \\ 3 & \text{otherwise} \end{cases} \quad n_{smkt} = 1$$

$$\Phi_{kt} := \begin{cases} 2030 & \text{if } n_{smkt} = 1 \\ 4015 & \text{if } n_{smkt} = 2 \\ 5960 & \text{if } n_{smkt} = 3 \end{cases} \quad \Phi_{kt} = 2.03 \times 10^3$$

Число колісно-токарних верстатів

$$n_{\hat{e}\hat{o}} := 1 + \text{floor}\left(\frac{N_{\hat{e}\hat{o}} \cdot C_{\hat{e}\hat{o}}}{\Phi_{kt} \cdot k_{\hat{e}\hat{n}\hat{i}}}\right) \quad n_{\hat{e}\hat{o}} = 2$$

Таким чином, для виконання річної програми обробки колісних пар дільниця повинна мати $n_{\hat{e}\hat{o}} = 2$ колісно-токарних верстатів та працювати із числом змін $n_{smkt} = 1$

Розрахунок потрібної кількості деревообробних верстатів

Вихідні дані:

Загальна річна програма ділянки з обробки пиломатеріалів, м³,

$$V_d := 4000$$

Витрати станко-годин на обробку 1 м³ пиломатеріалів

$$C_d := \begin{cases} 3.65 & \text{if } tip = 1 \\ 4.5 & \text{otherwise} \end{cases} \quad C_d = 4.5$$

Дійсний річний фонд часу роботи одного деревообробного верстата, год,

$$\Phi_{dst} := \begin{cases} 2030 & \text{if } n_{sm} = 1 \\ 4015 & \text{if } n_{sm} = 2 \\ 5960 & \text{if } n_{sm} = 3 \end{cases} \quad \Phi_{dst} = 2.03 \times 10^3$$

Коефіцієнт використання верстата

$$k_{\text{вн}} := 0.85$$

Потрібна кількість деревообробних верстатів

$$n_{st} := \frac{V_d \cdot C_d}{\Phi_{dst} \cdot k_{\text{вн}}} \quad n_{st} = 10.432$$

Округлення розрахункового числа верстатів до найближчого цілого числа

$$n_{st1} := 1 + \text{floor}(n_{st}) \quad n_{st1} = 11$$

Приймаємо такий розподіл верстатів по типах:

– круглопильні верстати з автоматичною подачею

$$n_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{\delta}} := \text{round}(0.13 \cdot n_{st1}, 0) \quad n_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{\delta}} = 1$$

– стрічковопильні

$$n_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{i}} := \text{round}(0.12 \cdot n_{st1}, 0) \quad n_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{i}} = 1$$

– стругальні чотиристоронні

$$n_{\ddot{a}\ddot{n}\ddot{\delta}} := \text{round}(0.22 \cdot n_{st1}, 0) \quad n_{\ddot{a}\ddot{n}\ddot{\delta}} = 2$$

– рейсмусові

$$n_{\ddot{a}\ddot{\delta}} := \text{round}(0.23 \cdot n_{st1}, 0) \quad n_{\ddot{a}\ddot{\delta}} = 3$$

– фрезерні

$$n_{\ddot{a}\ddot{\delta}} := \text{round}(0.10 \cdot n_{st1}, 0) \quad n_{\ddot{a}\ddot{\delta}} = 1$$

– інші

$$n_{\ddot{a}\ddot{i}} := n_{st1} - (n_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{\delta}} + n_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{i}} + n_{\ddot{a}\ddot{n}\ddot{\delta}} + n_{\ddot{a}\ddot{\delta}} + n_{\ddot{a}\ddot{\delta}}) \quad n_{\ddot{a}\ddot{i}} = 3$$

Коефіцієнт завантаження верстатів

$$\eta_d := \frac{n_{st}}{n_{st1}} \quad \eta_d = 0.948$$

Розрахунок потрібної кількості ковальського обладнання

Введіть:

- 1 - для молота з масою падаючих частин 0,15 т;
- 2 - для молота з масою падаючих частин 0,2 т;
- 3 - для молота з масою падаючих частин 0,35 т;

$$tip_{\hat{i}\hat{e}\hat{i}\hat{o}} := 1$$

Сумарний річний пробіг вагонів, що обслуговуються на ПТО, млн ваг.км,

$$\Sigma l_{i\delta} := 1.5$$

Коефіцієнт переведення ремонтної поковки на нову

$$k_{\hat{e}\hat{o}\hat{c}} := 0.25$$

Коефіцієнт, що враховує витрати поковки на виготовлення нестандартного інструмента, штампів, пристосувань та для господарських цілей депо,

$$\alpha_{\hat{e}\hat{o}\hat{c}} := 1.12$$

Витрати ремонтної поковки на один приведений вагон при деповському ремонті, кг,

$$q_{\hat{\delta}\hat{a}\hat{i}} := \begin{cases} 34 & \text{if } tip = 1 \\ 100 & \text{otherwise} \end{cases} \quad q_{\hat{\delta}\hat{a}\hat{i}} = 100$$

Витрати ремонтної поковки на технічне обслуговування вагонів на ПТО, кг/1 млн ваг.км пробігу,

$$q_{i\hat{o}\hat{i}} := \begin{cases} 16 & \text{if } tip = 1 \\ 24 & \text{otherwise} \end{cases} \quad q_{i\hat{o}\hat{i}} = 24$$

Загальна річна потреба в поковках, кг

$$Q_{\hat{e}\hat{o}\hat{c}} := k_{\hat{e}\hat{o}\hat{c}} \cdot \alpha_{\hat{e}\hat{o}\hat{c}} \cdot \left(N_B \cdot q_{\hat{\delta}\hat{a}\hat{i}} + \frac{\Sigma l_{i\delta} \cdot q_{i\hat{o}\hat{i}}}{10^6} \right) \quad Q_{\hat{e}\hat{o}\hat{c}} = 3.416 \times 10^4$$

Годинна продуктивність ковальського молота, кг/год,

$$H_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta} := \begin{cases} 18 & \text{if } tip_{\hat{u}\hat{e}\hat{i}\hat{o}} = 1 \\ 32 & \text{if } tip_{\hat{u}\hat{e}\hat{i}\hat{o}} = 2 \\ 60 & \text{otherwise} \end{cases} \quad H_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta} = 18$$

Годинна продуктивність двовогневого горна, кг/год,

$$H_{\tilde{a}} := 10$$

Коефіцієнт використання ковальських агрегатів у часі

$$k_{\hat{e}\hat{n}\hat{E}} := 0.7$$

Потрібна кількість обладнання для ковальського відділення

$$n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta} := \text{round}\left(\frac{Q_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta}}{H_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta} \cdot \Phi_{dst} \cdot k_{\hat{e}\hat{n}\hat{E}}}, 0\right) \quad n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta} = 1$$

Приймаємо для ковальського відділення таке устаткування:

– ковальські молоти	$n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta\grave{I}} := 1 + \text{floor}(0.60 \cdot n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta})$	$n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta\grave{I}} = 1$
– нагрівальні печі	$n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta\acute{I}} := 1 + \text{floor}(0.30 \cdot n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta})$	$n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta\acute{I}} = 1$
– ковальські горни	$n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta\tilde{A}} := 1 + \text{floor}(0.10 \cdot n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta})$	$n_{\hat{\epsilon}\hat{\sigma}\zeta\tilde{A}} = 1$

Розрахунок потрібної кількості зварювального устаткування

Введіть:

- 1 - для ручного зварювання;
- 2 - для автоматичного зварювання:

$$tip_{\hat{n}\hat{a}} := 1$$

Коефіцієнт, що враховує зварювальні роботи при технічному обслуговуванні, поточному ремонті вагонів з відчепленням,

$$k_{\tilde{n}\hat{a}} := 1.3$$

Дійсний річний фонд часу роботи одного зварювального апарата, год,

$$\Phi_{dsv} := \begin{cases} 2030 & \text{if } n_{sm} = 1 \\ 4015 & \text{if } n_{sm} = 2 \\ 5960 & \text{if } n_{sm} = 3 \end{cases} \quad \Phi_{dsv} = 2.03 \times 10^3$$

Коефіцієнт використання одного зварювального апарата

$$\eta_{\tilde{n}\hat{a}} := \begin{cases} 0.75 & \text{if } tip_{\tilde{n}\hat{a}} = 1 \\ 0.92 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Коефіцієнт, що враховує час, потрібний на допоміжні та підготовчо-кінцеві операції,

$$\alpha_{\tilde{n}\hat{a}} := \begin{cases} 1.3 & \text{if } tip_{\tilde{n}\hat{a}} = 1 \\ 1.2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Основний час зварювання на один вагон, що ремонтується, год,

$$t_{\tilde{m}\hat{i}} := \begin{cases} 6.2 & \text{if } tip = 1 \\ 12.9 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Щільність металу, що наплавляється, г/см³, $\rho := 7.8$

Коефіцієнт, що враховує положення шва при зварюванні,
 $\beta_{\tilde{n}\hat{a}} := 1.2$

Обсяг металу, що наплавляється, на один наведений вагон, см³,

$$V_{\hat{i}\hat{a}} := \begin{cases} 800 & \text{if } tip = 1 \\ 1100 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Зварювальний струм, А,

$$J_{\tilde{n}\hat{a}} := 210$$

Коефіцієнт наплавлення – кількість електродного металу, г, що розплавляється за 1 год зварювальним струмом в 1 А:

$$\eta_{i\ddot{a}i} := \begin{cases} 8 & \text{if } tip_{\tilde{n}\hat{a}} = 1 \\ 14.5 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \eta_{i\ddot{a}i} = 8$$

Сумарний час на зварювальні роботи, що виконуються на одному вагоні, год,

$$\Sigma T_{\tilde{n}\hat{a}} := \frac{\alpha_{\tilde{n}\hat{a}} \cdot \beta_{\tilde{n}\hat{a}} \cdot \rho \cdot V_{i\ddot{a}i}}{J_{\tilde{n}\hat{a}} \cdot \eta_{i\ddot{a}i}} \quad \Sigma T_{\tilde{n}\hat{a}} = 7.967$$

Потреба депо в електрозварювальних апаратах

$$A_{\tilde{n}\hat{a}} := \frac{\Sigma T_{\tilde{n}\hat{a}} \cdot N_B}{\Phi_{dsv} \cdot \eta_{\tilde{n}\hat{a}}} \quad A_{\tilde{n}\hat{a}} = 6.384$$

$$A_{\tilde{n}\hat{a}i} := 1 + floor(A_{\tilde{n}\hat{a}}) \quad A_{\tilde{n}\hat{a}i} = 7$$

Зварювальні апарати розподіляються по дільницях у такий спосіб:

– складальна дільниця	$A_{\tilde{n}\hat{a}i\ddot{o}} := round(0.50 \cdot A_{\tilde{n}\hat{a}}, 0)$	$A_{\tilde{n}\hat{a}i\ddot{o}} = 3$
– візково-колісна дільниця	$A_{\delta\hat{a}\ddot{e}} := round(0.30 \cdot A_{\tilde{n}\hat{a}}, 0)$	$A_{\delta\hat{a}\ddot{e}} = 2$
– зварювальне відділення	$A_{\tilde{n}\hat{a}\delta\hat{a}\ddot{e}} := round(0.10 \cdot A_{\tilde{n}\hat{a}}, 0)$	$A_{\tilde{n}\hat{a}\delta\hat{a}\ddot{e}} = 1$
– інші виробничі підрозділи	$A_{i\ddot{o}\delta\hat{a}\ddot{e}\hat{a}} := A_{\tilde{n}\hat{a}i} - (A_{\tilde{n}\hat{a}i\ddot{o}} + A_{\delta\hat{a}\ddot{e}} + A_{\tilde{n}\hat{a}\delta\hat{a}\ddot{e}})$	
	$A_{i\ddot{o}\delta\hat{a}\ddot{e}\hat{a}} = 1$	

Загальна кількість газозварювальних апаратів

$$A_{\tilde{a}\hat{a}\delta\hat{a}\ddot{e}\hat{a}} := 1 + floor(0.012 A_{\tilde{n}\hat{a}}) \quad A_{\tilde{a}\hat{a}\delta\hat{a}\ddot{e}\hat{a}} = 1$$

5.3. Розрахунок кількості вагонів, що приписані до пасажирського депо

Для розрахунку буде використовуватися табличний процесор Excel.

На робочому аркуші введіть в комірки C8:J11 дані про вагони пасажирських поїздів всіх категорій. В комірку K8 введіть формулу

$$=СУММ(C8:J8),$$

а потім подібні формули введіть в комірки K9:K11.

Після введення тексту, що пояснює, та відповідного оформлення таблиця набуде вигляду, зображеного на рис. 5.1.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Розрахунок кількості пасажирських вагонів, приписаних до пасажирського депо										
Кількість вагонів у складі поїздів різних категорій										
Категорія пасажирського поїзда	Число вагонів у складі									усього
	спальних СВ	жорстких кувейтів	жорстких некувейтних (швакарних)	жорстких загальних (нешвакарних)	багажних	поштових	ресторанів	міжобласного типу		
Швидкий	3	12	7		1		1			24
Пас. далек. прямув.	1	3	11	6	1	1	1			24
Пас. місц. сполуч.		4			1	1		12		18
Поштово-багажн.					12	6				18

Рис. 5.1

Створіть другу таблицю. Ця таблиця буде містити дані про поїзди, що обслуговуються вагонним депо:

номер поїзда;

категорія поїзда;

відстань від пункту відправлення до пункту призначення, км;

час знаходження складу в пункті формування, год;
 час знаходження складу в пункті обороту, год;
 маршрутна швидкість поїзда від пункту формування до пункту обороту, км/год;
 маршрутна швидкість поїзда від пункту обороту до пункту формування км/год;
 кількість поїздів, що відправляються, за добу.

Введіть в комірку I29 формулу

=ЕСЛИ(A29="";"";ОКРУГЛ((D29+C29/F29+C29/G29+E29)/24;0)).

За цією формулою в комірці I29 буде обчислений оборот вагона.

За допомогою маркера заповнення введіть формули в комірки діапазону I30:I38.

Зверніть увагу, що формула вводиться в усі комірки діапазону I29:I38. Обчислення будуть виконані тільки після введення в рядок всіх даних.

Загальний вигляд таблиці наведено на рис. 5.2.

Розрахунок обороту пасажирського состава								
Номер поїзда	Категорія поїзда	Найменування даних						
		Відстань від пункту відправлення до пункту призначення, км	Час перебування состава в пункті формування, годин	Час перебування состава в пункті обороту, годин	Маршр. швид. поїзда від пункту форм. до пункту обороту, км/г	Маршр. швид. поїзда від пункту обороту до пункту форм., км/г	Число поїздів, що відправляють, за добу	Оборот состава в добі
10/11	Швидкий	2500	13	11,5	75	70	1	4
171/172	Пас. далек. прямув.	1500	11	6,5	60	55	1	3
173/174	Пас. місц. сполуч.	250	14	10,5	40	45	1	2
175/176	Пас. місц. сполуч.	200	8	5	42	44	1	1
201/202/	Пас. місц. сполуч.	450	10	8	50	52	1	1
34								
35								
36								
37								
38								

Рис. 5.2

Створіть третю таблицю.

В комірки A49:F49, G50:O50 послідовно введіть заголовки стовпців таблиці:

номер поїзда;
категорія поїзда;
кількість поїздів, що відправляються, за добу;
оборот составів;
необхідне число составів;
число вагонів у складі.

В комірки G50:O50 введіть:

спальні СВ;
жорсткі купейні;
жорсткі не купейні (плацкартні);
ті ж не плацкартні;
багажні;
поштові;
ресторани;
міжобласні.

В комірки A51:O51 послідовно введіть такі формули:

=ЕСЛИ(A29="";";A29)
=ЕСЛИ(B29="";";B29)
=ЕСЛИ(H29="";";H29)
=ЕСЛИ(I29="";";I29)
=ЕСЛИ(A51="";";D51*C51)

=ЕСЛИ(B29="";";ЕСЛИ(B29="Швидкий";\$K\$8;ЕСЛИ(B29="Пас. далек. прямув."; \$K\$9;ЕСЛИ(B29="Пас.місц.сполуч."; \$K\$10;ЕСЛИ(B29="Поштово-багажн."; \$K\$11;"Неправильно заданий тип вагона!"))))))

=ЕСЛИ(\$B29="";";ЕСЛИ(\$B29="Швидкий";C\$8*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. далек.прямув.";C\$9*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас.місц.сполуч.";C\$10*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Поштово-багажн.";C\$11*\$E51;"Неправильно заданий тип вагона!"))))))

=ЕСЛИ(\$B29="";"";ЕСЛИ(\$B29="Швидкий";D\$8*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. далек. прямув.";D\$9*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. місц. сполуч.";D\$10*\$E51; ЕСЛИ(\$B29="Поштово-багажн.";D\$11*\$E51;" Неправильно заданий тип вагона!"))))

=ЕСЛИ(\$B29="";"";ЕСЛИ(\$B29="Швидкий";E\$8*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. далек. прямув.";E\$9*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. місц. сполуч.";E\$10*\$E51; ЕСЛИ(\$B29="Поштово-багажн.";E\$11*\$E51;"Неправильно заданий тип вагона!"))))

=ЕСЛИ(\$B29="";"";ЕСЛИ(\$B29="Швидкий";F\$8*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. далек. прямув.";F\$9*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. місц. сполуч.";F\$10*\$E51; ЕСЛИ(\$B29="Поштово-багажн.";F\$11*\$E51;" Неправильно заданий тип вагона!"))))

=ЕСЛИ(\$B29="";"";ЕСЛИ(\$B29="Швидкий";G\$8*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. далек. прямув.";G\$9*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. місц. сполуч.";G\$10*\$E51; ЕСЛИ(\$B29="Поштово-багажн.";G\$11*\$E51;" Неправильно заданий тип вагона!"))))

=ЕСЛИ(\$B29="";"";ЕСЛИ(\$B29="Швидкий";H\$8*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. далек. прямув.";H\$9*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. місц. сполуч.";H\$10*\$E51; ЕСЛИ(\$B29="Поштово-багажн.";H\$11*\$E51;" Неправильно заданий тип вагона!"))))

=ЕСЛИ(\$B29="";"";ЕСЛИ(\$B29="Швидкий";I\$8*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. далек. прямув.";I\$9*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. місц. сполуч.";I\$10*\$E51; ЕСЛИ(\$B29="Поштово-багажн.";I\$11*\$E51;" Неправильно заданий тип вагона!"))))

=ЕСЛИ(\$B29="";"";ЕСЛИ(\$B29="Швидкий";J\$8*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. далек. прямув.";J\$9*\$E51;ЕСЛИ(\$B29="Пас. місц. сполуч.";J\$10*\$E51; ЕСЛИ(\$B29="Поштово-багажн.";J\$11*\$E51;" Неправильно заданий тип вагона!"))))

=ЕСЛИ(A51="";"";СУММ(G51:N51)).

Використовуючи заповнення, введіть в комірки діапазону A51:O60 інші формули.

В комірки G61:O61 послідовно введіть формули

=СУММ(G51:G60)

=СУММ(H51:H60)

=СУММ(I51:I60)
 =СУММ(J51:J60)
 =СУММ(K51:K60)
 =СУММ(L51:L60)
 =СУММ(M51:M60)
 =СУММ(N51:N60)
 =СУММ(O51:O60) .

Таблиця набуде вигляду, як зображено на рис. 5.3.

Розрахунок потрібного числа пасажирських вагонів															
Номер поїзда	Категорія поїзда	Число поїздів, що виїждяє, за добу	Оборот составів	Необхідне число составів	Число вагонів у складі	Требующее количество вагонов для формирования составов									Усього
						Спальні СВ	Жорстка кулеїйна	Жорстка некулеїйна (плацкарти)	Те ж неплацкарти	Багажні	Поштові	Ресторани	Міжабласні		
10/11	Швидкий	1	4	4	24	12	48	28	0	4	0	4	0	96	
171/172	Пас. далекий, прямий	1	3	3	24	3	9	33	18	3	3	3	0	72	
173/174	Пас. місц. сполуч.	1	2	2	18	0	8	0	0	2	2	0	24	36	
175/176	Пас. місц. сполуч.	1	1	1	18	0	4	0	0	1	1	0	12	18	
201/202	Пас. місц. сполуч.	1	1	1	18	0	4	0	0	1	1	0	12	18	
УСЬОГО						15	73	61	18	11	7	7	48	240	

Рис. 5.3

5.4. Прогнозування парку пасажирських вагонів

Методи прогнозування дозволяють спрогнозувати кількість вагонів інвентарного парку на найближчі роки. Прогноз виконується на основі зміни протягом ряду років числа вагонів існуючого інвентарного парку.

Для виконання розрахунків використовується табличний процесор Excel.

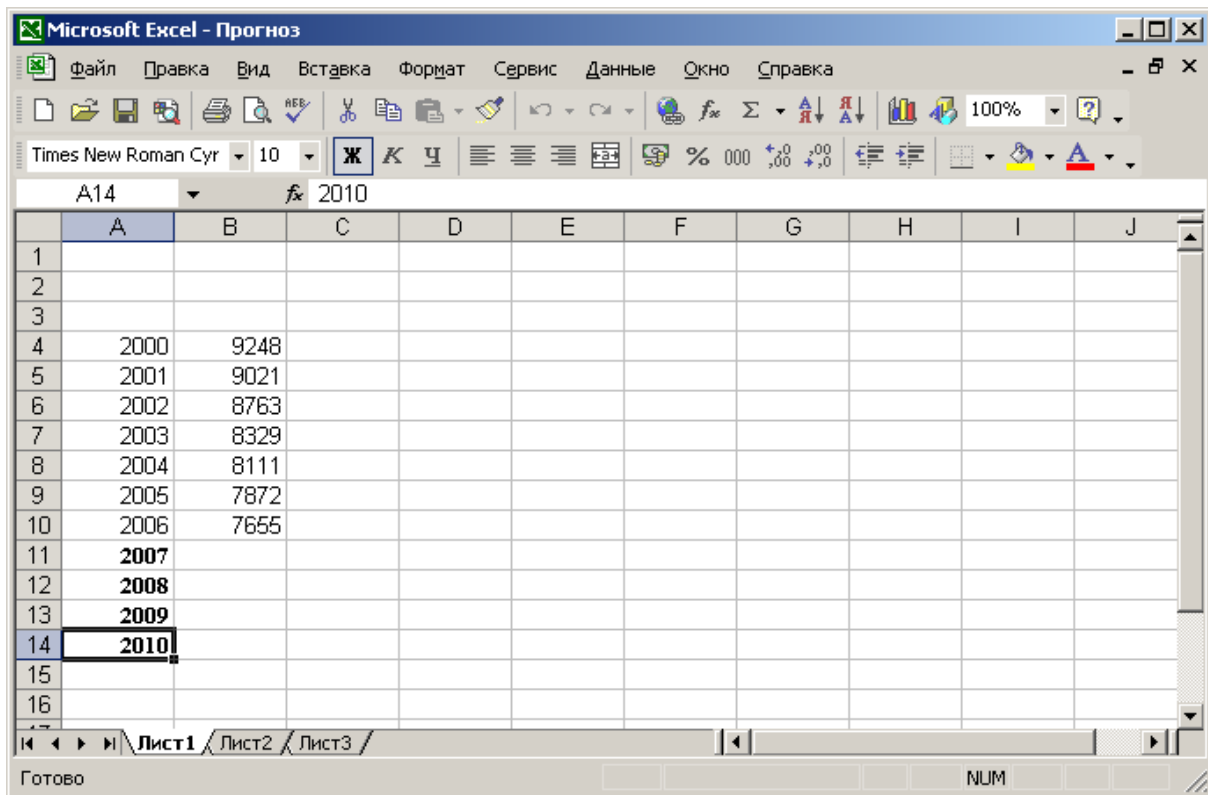
Нижче будуть розглянуті деякі методи прогнозування.

Як приклад буде розглядатися завдання прогнозування інвентарного парку пасажирських вагонів.

5.4.1. Метод ковзного середнього

Метод ковзного середнього дозволяє досить швидко та порівняно просто зробити наближений прогноз. При використанні цього методу прогноз будь-якого періоду являє собою середнє значення показника декількох результатів спостережень часового ряду.

Відкриємо Excel та на робочому аркуші введемо в комірки $BS4:BS10$ дані про інвентарний парк пасажирських вагонів за рік (рис. 5.4).



The screenshot shows the Microsoft Excel interface with a spreadsheet titled "Прогноз". The data is as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4	2000	9248								
5	2001	9021								
6	2002	8763								
7	2003	8329								
8	2004	8111								
9	2005	7872								
10	2006	7655								
11	2007									
12	2008									
13	2009									
14	2010									
15										
16										

Рис. 5.4

Для складання прогнозу будемо використовувати надбудову ковзного середнього.

Виберіть команду **Сервіс - Пакет аналіза** (Сервіс – Пакет аналізу). Якщо в меню ця надбудова відсутня, її потрібно встановити.

Виберіть команду **Сервіс - Надстройки** (Сервіс – Надбудови). З'явиться діалогове вікно **Надстройки (Надбудови)**

(рис. 5.5), у якому потрібно встановити прапорець опції **Пакет анализа** (Пакет аналізу) та клацнути на кнопці **ОК**. У меню **Сервис** (Сервіс) з'явиться нова команда **Анализ данных** (Аналіз даних). Виберіть команду **Сервис - Анализ данных** та клацніть на кнопці **ОК**. З'явиться діалогове вікно **Анализ данных** (Аналіз даних) (рис. 5.6), у якому є всі доступні функції аналізу даних. Виберіть зі списку інструмент аналізу **Скользящее среднее** (Ковзне середнє) та клацніть на кнопці **ОК**.

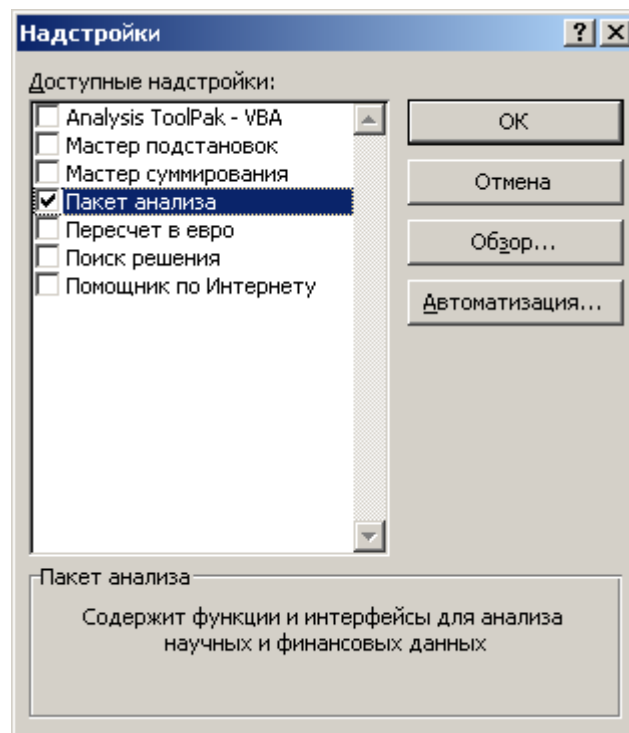


Рис. 5.5

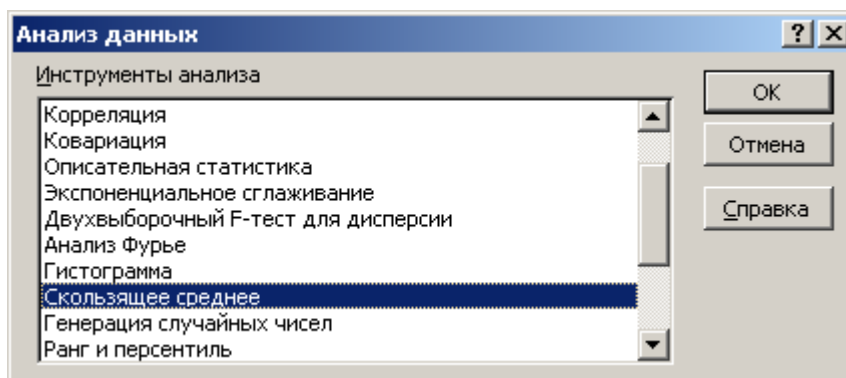


Рис. 5.6

З'явиться діалогове вікно **Скользящее среднее** (Ковзне середнє) (рис. 5.7). Результат розрахунку за початковими даними (рис. 5.4) зображено на рис. 5.8.

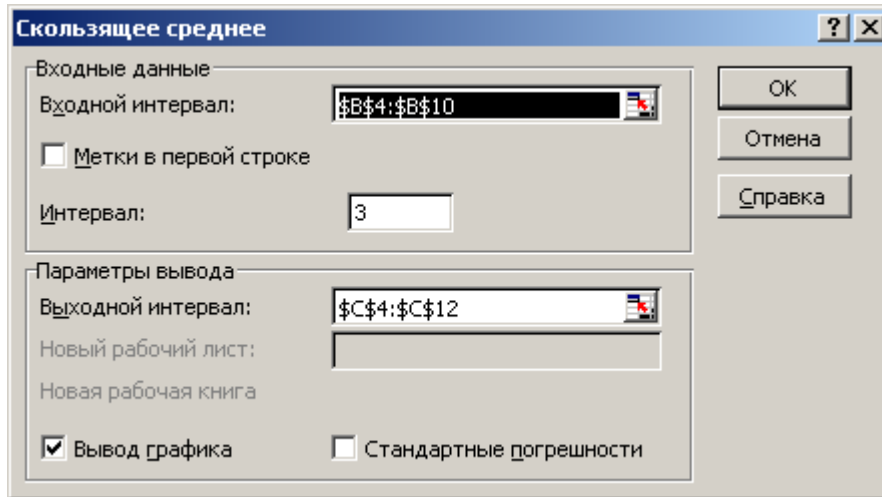


Рис. 5.7

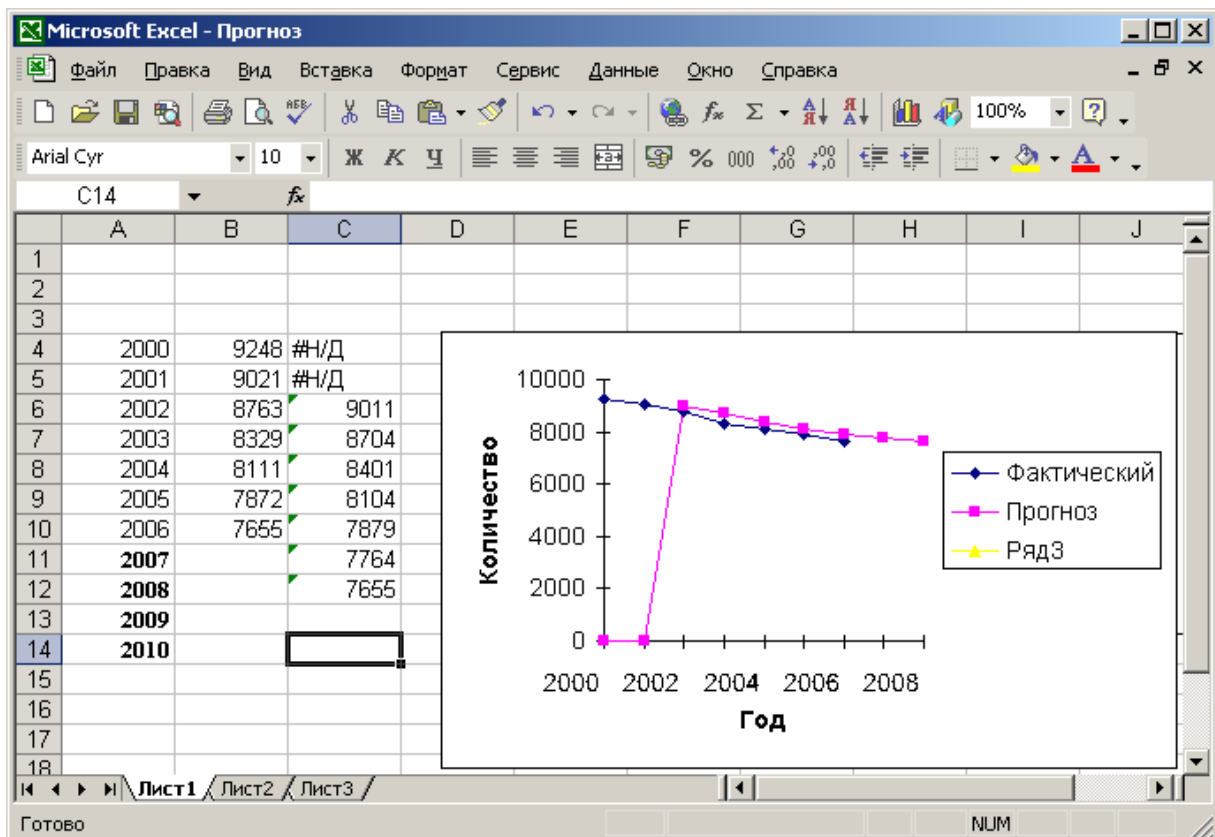


Рис. 5.8

5.4.2. Лінійний прогноз

Метод ковзного середнього не дає можливості одержати прогноз, що виходить за межі відомих даних. Цього недоліку не мають методи прогнозування за допомогою функцій регресії Excel.

Для проведення регресійного аналізу застосуємо функцію робочого аркуша ТЕНДЕНЦИЯ (тенденція).

Будемо використовувати дані, які наведені на рис. 5.4.

Дані про роки поставки транспорту пасажирських вагонів утримуються в комірках А4:А10, а дані про робочий парк пасажирських вагонів перебувають в комірках В4:В10.

Уведемо в комірку С4 таку функцію:

=ТЕНДЕНЦИЯ(В4:В10;А4:А10) .

Для введення формули масиву виділіть комірки С4:С10, натисніть на клавішу F2, а потім комбінацію клавіш «Ctrl + Shift + Enter». Ви побачите, що тепер формула укладена у фігурні дужки.

Результат показаний на рис. 5.9.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4	2000	9248	9257						
5	2001	9021	8980						
6	2002	8763	8704						
7	2003	8329	8428						
8	2004	8111	8152						
9	2005	7872	7876						
10	2006	7655	7600						
11									
12									
13									
14									

Рис. 5.9

Для обчислення прогнозу функція ТЕНДЕНЦИЯ припускає лінійний зв'язок між фактичним числом вагонів і часом, за який ці вагони були отримані.

В комірку С4 введемо

=ТЕНДЕНЦИЯ(В4:В10;А4:А10;А4:А14) .

Прогноз, у цьому випадку отриманий, не поширюється за межі відомих фактичних значень. На практиці бажано скласти прогноз на наступні періоди часу, для яких немає даних про фактичні поставки вагонів.

Уведемо в комірки А11:А14 числа 2007, 2008, 2009, 2010. Це роки, на які робиться прогноз.

Таким чином, значення в комірках С4:С14 є прогнозом парку пасажирських вагонів на 2007 -2010 роки.

Результат цих дій зображено на рис. 5.10.

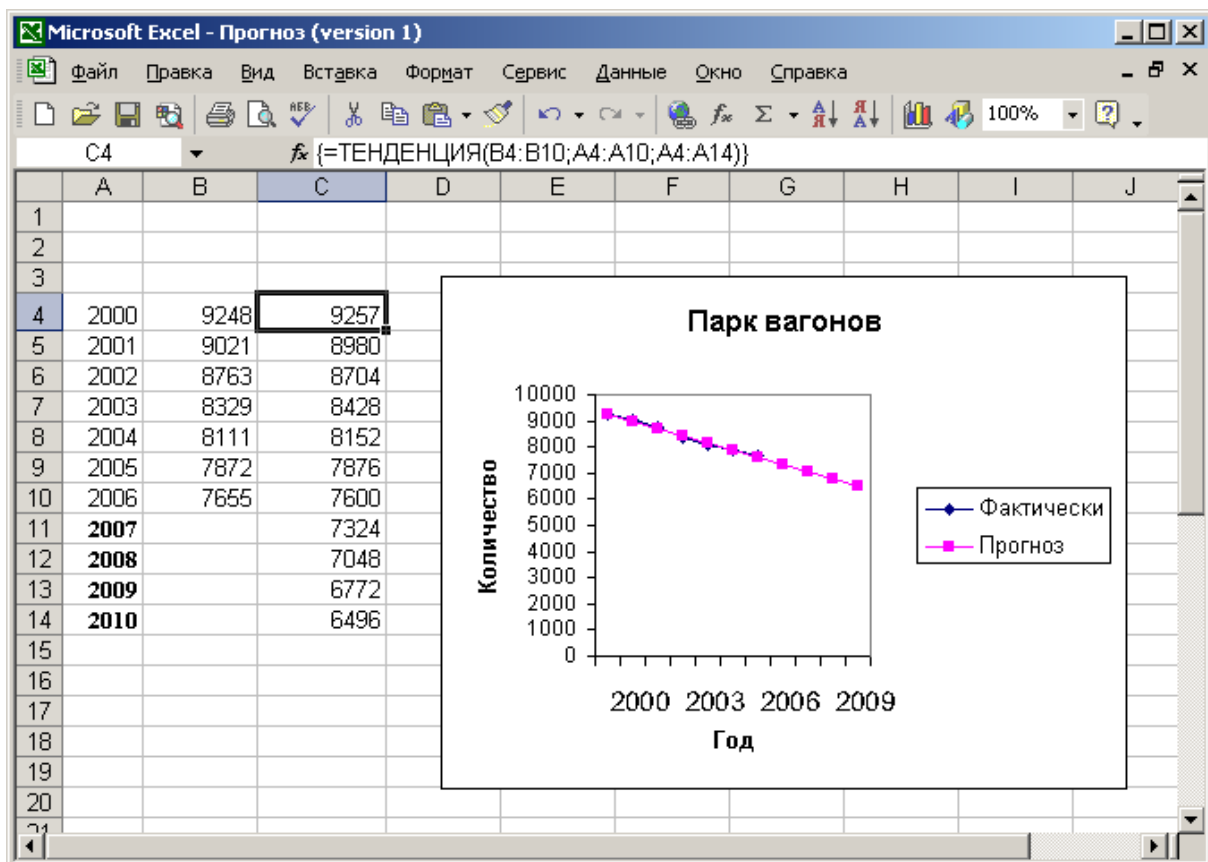


Рис. 5.10

Побудуємо графік за фактичними даними, наведеними в першому та другому стовпцях на рис. 5.10. На горизонтальній осі будемо відкладати рік поставки вагонів, на вертикальній – кількість вагонів. Графік зображено на рис. 5.11.

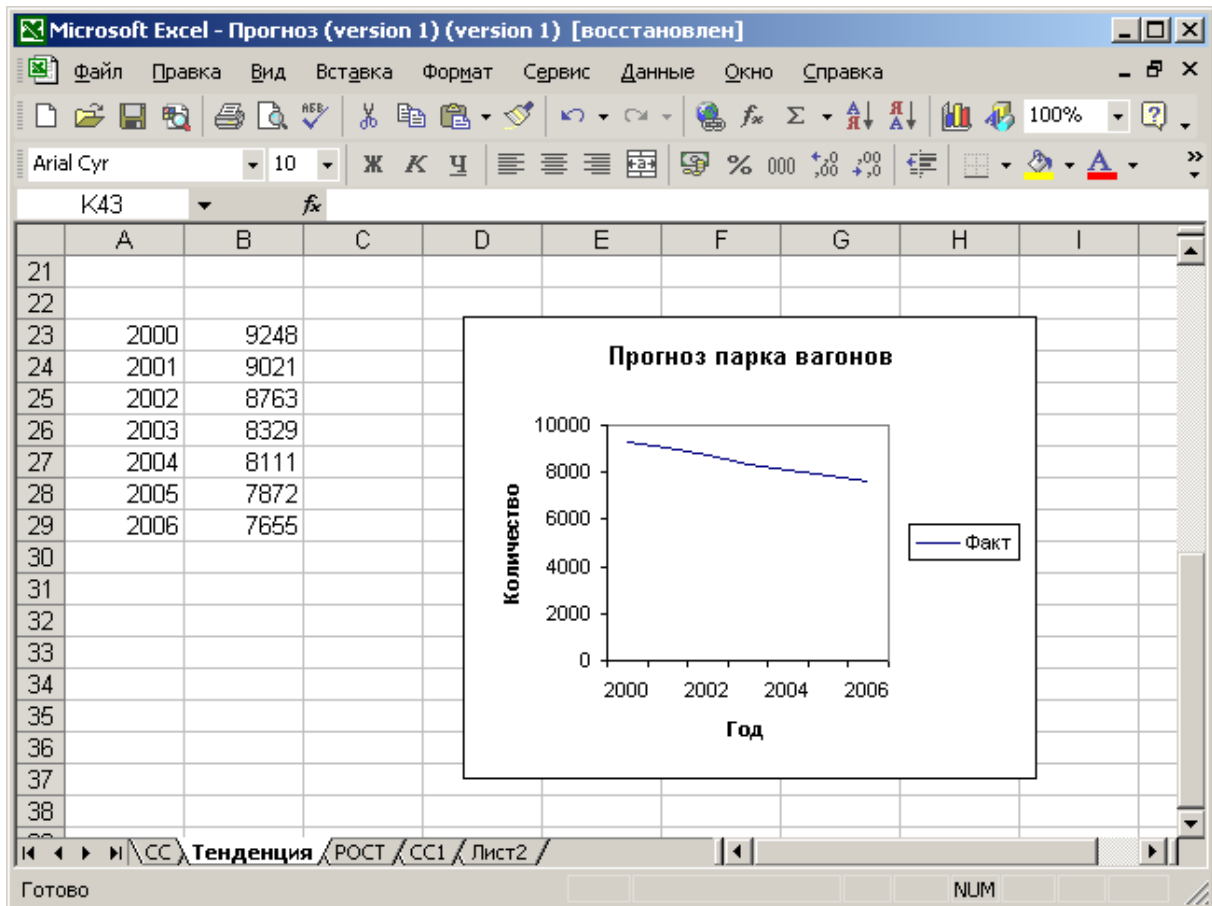


Рис. 5.11

З рис. 5.11 видно, що взаємозв'язок між роком будівництва та числом вагонів носить практично лінійний характер. Він не має різких вигинів не в один, не в інший бік. Графік показує, що взаємозв'язок можна вважати лінійним. Тому в цьому випадку функція ТЕНДЕНЦИЯ є найзручнішим способом регресійного аналізу.

5.4.3. Нелінійний прогноз

Складемо прогноз інвентарного парку пасажирських вагонів купейного типу.

Введемо в комірки A24:A30 рік будування, а в комірки B24:B30 число вагонів та побудуємо графік залежності числа вагонів від року будування (рис. 5.12).

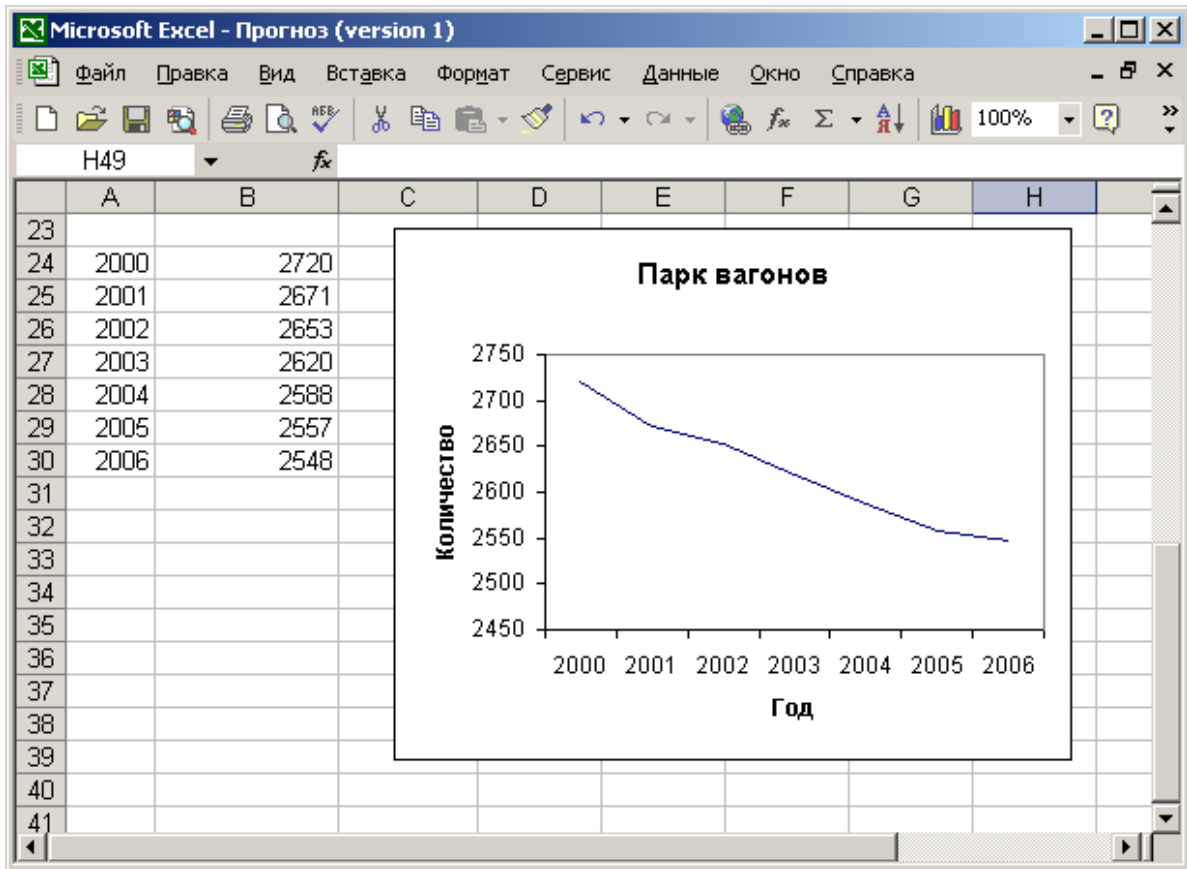


Рис. 5.12

На графіку видно, що залежність не є лінійною. Тому для складання прогнозу краще використати функцію РОСТ (ріст).

Введемо в комірки A5:A15 рік побудови, а в комірки B5:B11 число вагонів. В комірку C5 введемо функцію

$\text{=РОСТ(B5:B11;A5:A11;A5:A15)}$.

Як і при використанні функції ТЕНДЕНЦІЯ, виділимо комірку C5:C15, натиснемо на клавішу F2 та комбінацію клавіш «Ctrl + Shift + Enter». Результат зображений на рис. 5.13.

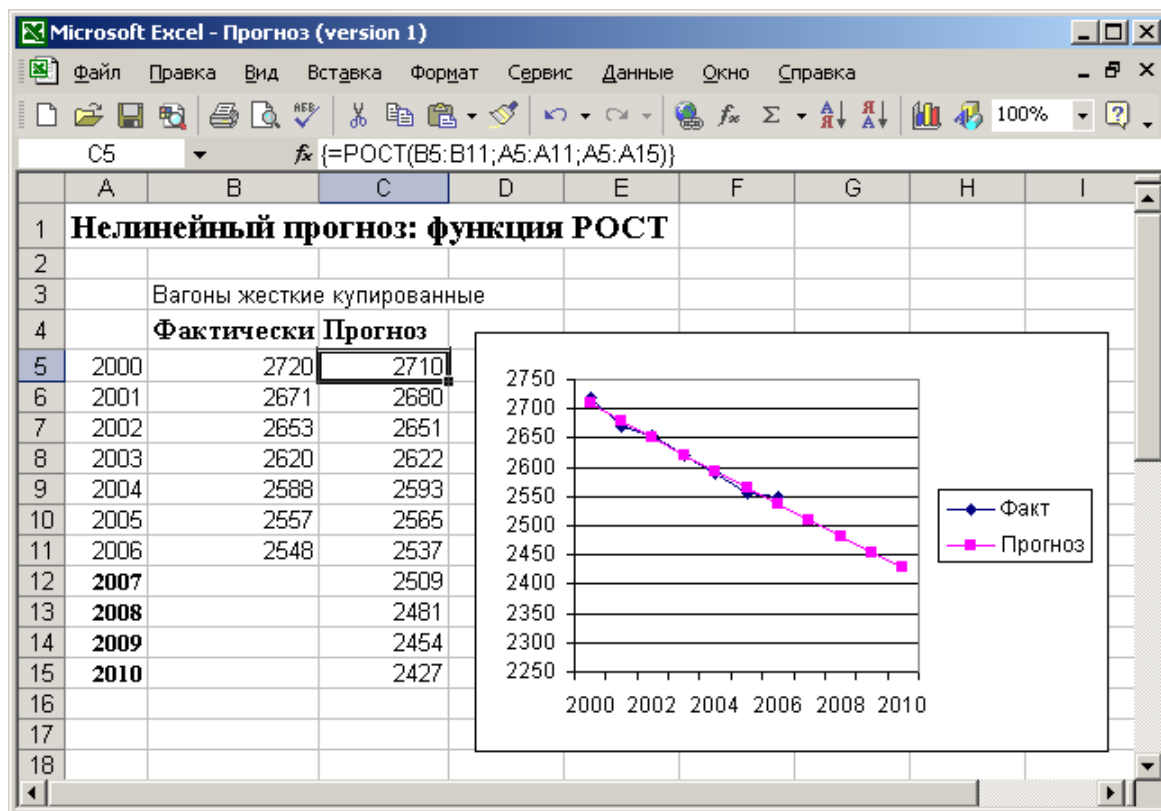


Рис. 5.13

5.4.4. Регрессивний аналіз за допомогою діаграм

Прогноз можна зробити за допомогою графічної лінії тренда.

Введемо вихідні дані в комірки B5:B11 та побудуємо графік (рис. 5.14).

Клацніть правою клавішею на лінії графіка. З'явиться діалогове меню, у якому виберемо **Добавить линию тренда** (Додати лінію тренда).

Відкриється діалогове вікно **Линия тренда** (Лінія тренда) (рис. 5.15). На рисунку видно, що лінія тренда дозволяє зробити як лінійний, так і нелінійний прогноз. У цьому випадку виберемо тип лінії тренда **Линейная** (Лінійна).

Клацнемо на кнопці вкладки **Параметри** (рис. 5.16).

У поле **вперед на** введемо число 4 (кількість періодів, протягом яких лінія тренда буде продовжена вперед).

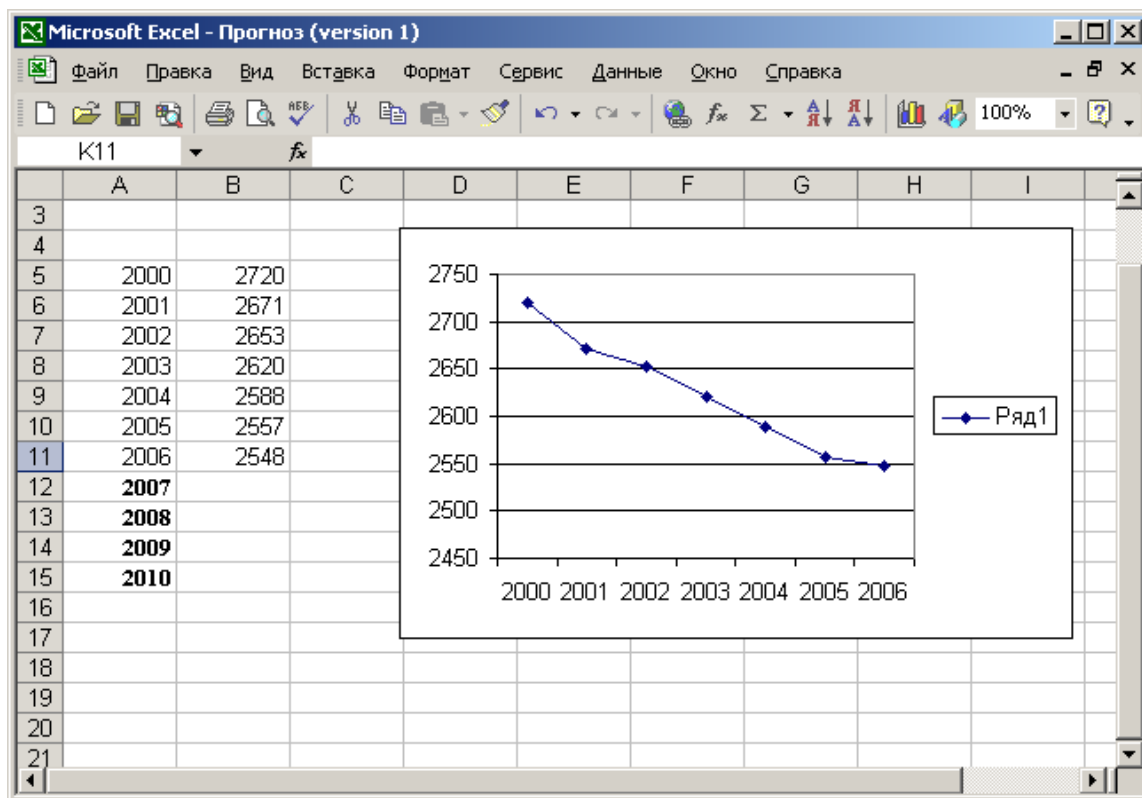


Рис. 5.14

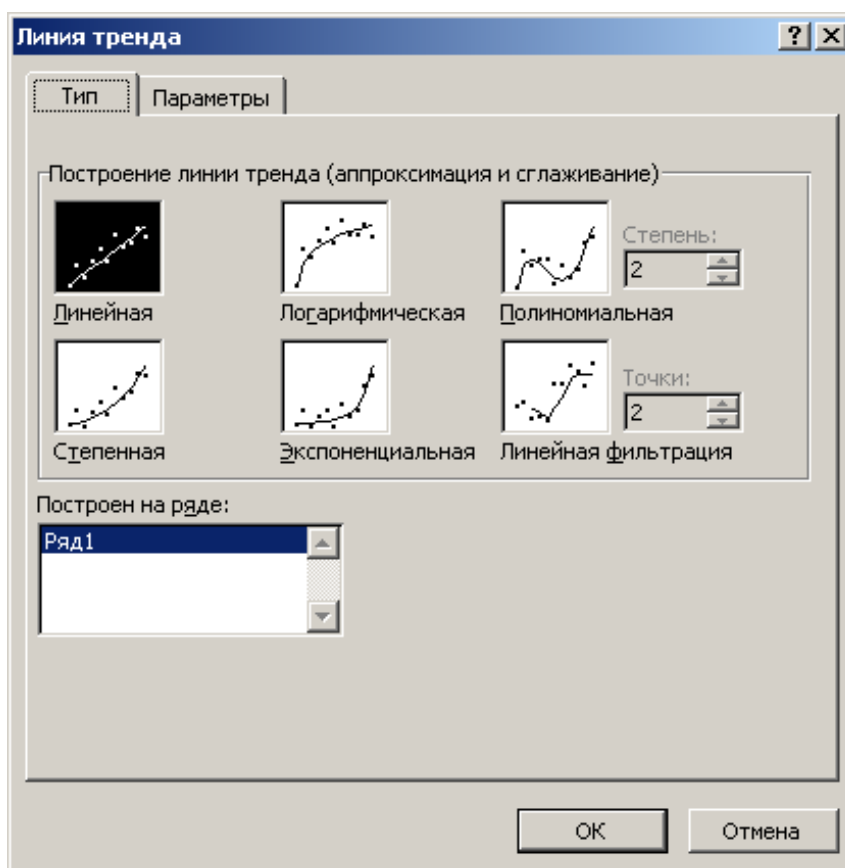


Рис. 5.15

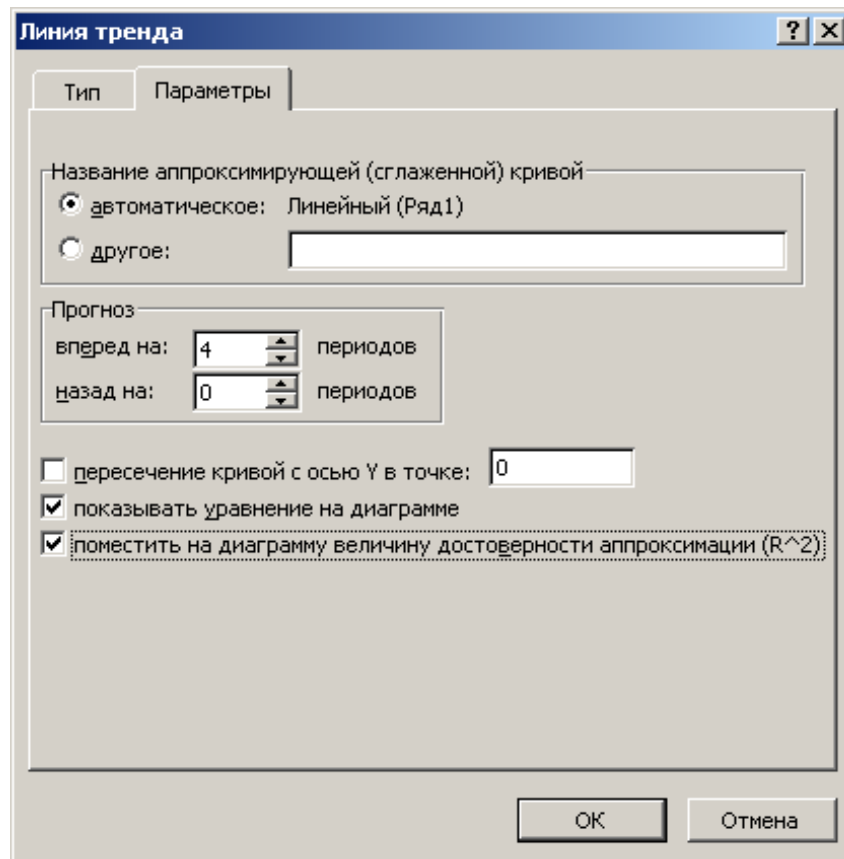


Рис. 5.16

Встановимо прапорець опції **показывать уравнение на диаграмме** (показувати рівняння на діаграмі), а також прапорець опції **поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R^2** (помістити на діаграмі величину вірогідності апроксимації R^2). Клацнемо на кнопці ОК.

Результат зображено на рис. 5.17.

Оскільки рівняння регресії наведене на графіку, можна одержати значення точок прогнозу. Введемо в комірки C5:C15 числа 1, 2, ..., 11. Це аргумент функції регресії.

Введемо в комірку D5 формулу

$$= -28,893 * C5 + 2738 .$$

Заповніть формулами комірки D6:D15 та форматуйте комірки D5:D15.

Остаточний результат зображено на рис. 5.17.

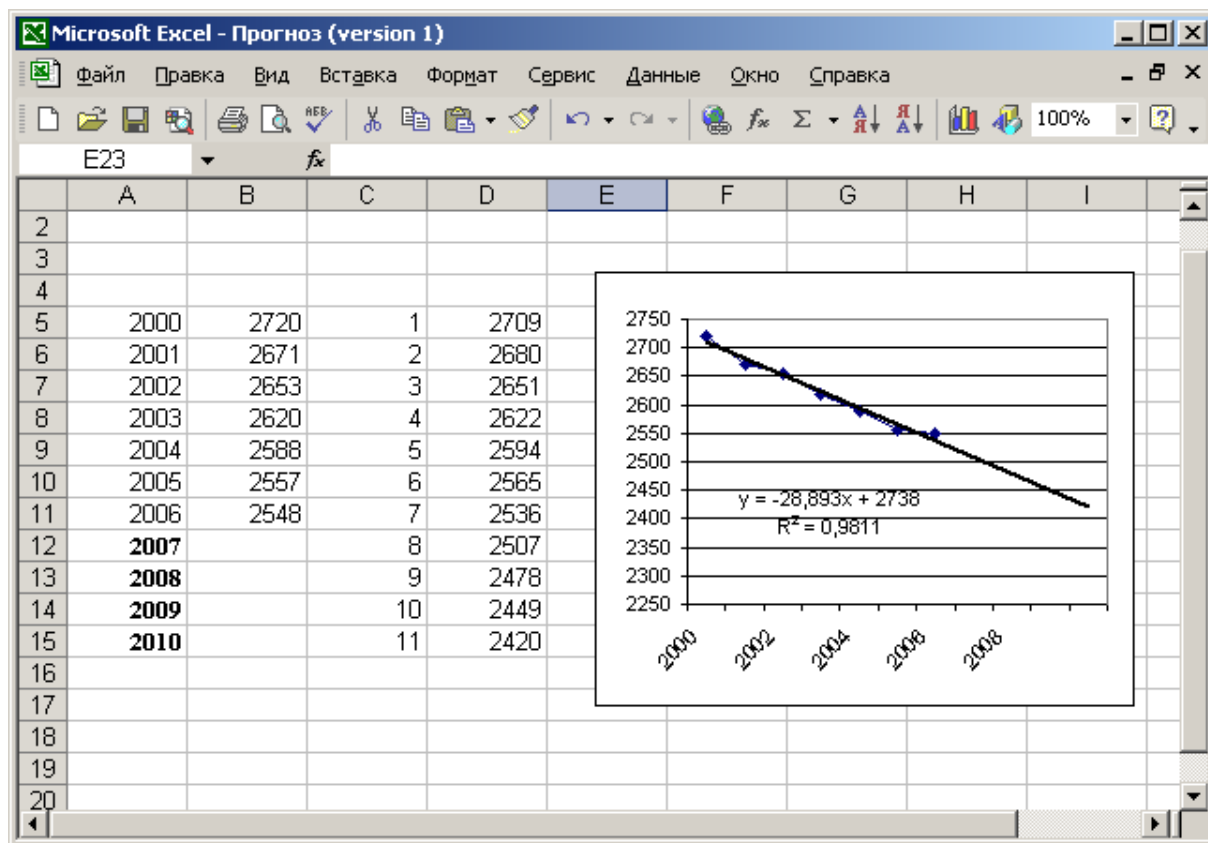


Рис. 5.17

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудрявцев Е.М. Mathcad 2000 Pro. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 570 с.
2. Использование Microsoft Excel 97: Пер. с англ./ Брюс Холберг, Шерри Кинкоф, Билл Рей и др. – К.; М.; СПб.: Изд. дом «Вильямс», 1998. – 736 с.
3. Расчет вагонов на прочность / Под ред. А.А. Попова. – М.: Трансжелдориздат, 1960.
4. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. С.В. Вершинского. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
5. Железнодорожный путь и подвижной состав для высоких скоростей движения / Под ред. М.А. Чернышева. – М.: Транспорт, 1964.
6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ, ВНИИЖТ. - М., 1996.
7. Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю. Основи динаміки вагонів: Навч. посібник. – К.: КУЕТТ, 2003. – 270 с.
8. Болотин М.М., Новиков В.Е. Системы автоматизации проектирования и ремонта вагонов: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Маршрут, 2004. – 311 с.
9. Болотин М.М. Электронная версия методических указаний для выполнения лабораторных работ и курсового проекта с использованием Excel и Mathcad по дисциплине «Системы автоматизации проектирования и ремонта вагонов» (САПРВ 1). – М.: МИИТ, 2006.
10. Инструктивно – методические указания по размещению и совершенствованию работы пунктов подготовки вагонов к перевозкам и пунктов технического обслуживания. – М.: Транспорт, 1982.
11. Гридюшко В.И., Бугаев В.П., Криворучко И.З. Вагонное хозяйство: Учеб. пособие для вузов. – 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.

