

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ ЕКОНОМІКО-ГУМАНІТАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ АКАДЕМІКА
СТЕПАНА ДЕМ'ЯНЧУКА

Р.М.Літнарівч

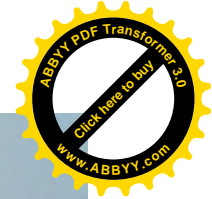
КОНСТРУЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ
МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

ЗАЛЕЖНІСТЬ РОСТУ ДІТЕЙ ВІД ВАГИ

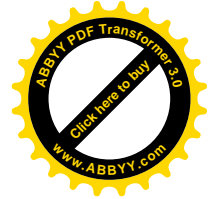
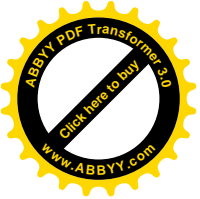
ЧАСТИНА 9



Рівне, 2010



*Літнарівч Руслан Миколайович
кандидат технічних наук, доцент*



УДК 378.147.31

Літнарівич Р.М. Конструювання і дослідження математичних моделей. Залежність росту дітей від ваги. Частина 9. МЕНУ, Рівне, 2010,- 84 с.

Рецензент: С.В.Лісова, доктор педагогічних наук, професор

Відповідальний за випуск:Й.В.Джунь, доктор фізико-математичних наук, професор

На основі фактичних даних залежності росту дитини від її ваги встановлюються емпіричні формули, які дають змогу визначати нормальний розвиток дитини, або відхилення від нормального розвитку у даному конкретному регіоні.

Аналогічні дослідження бажано провести для кожного дитячого навчального закладу з тим, щоб прогнозувати і корегувати нормальний розвиток дітей.

На основе фактических данных зависимости роста ребенка от его веса устанавливаются эмпирические формулы, которые дают возможность определять нормальное развитие ребенка, или отклонение от нормального развития в данном конкретном регионе.

Аналогичные исследования желательно провести для каждого детского учебного заведения с тем, чтобы прогнозировать и корректировать нормальное развитие детей.

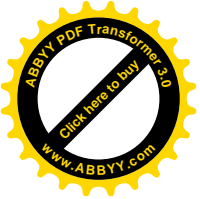
On the basis of fact sheets of dependence of growth of child from his weight empiric formulas which enable are set to determine normal development of child, or deviation from normal development in this concrete region.

It is desirable to conduct analogical researches for each child's educational establishment in order to forecast and correct normal development of children.

© Літнарівич Р.М.

Зміст

| | |
|---|----|
| Передмова | 5 |
| РОЗДІЛ 1.Розробка методологічних основ побудови математичної моделі залежності росту дитини від ваги | |
| 1.1. Теоретико-методологічні аспекти онтодидактичного підходу представлення поліноміальної апроксимації..... | 6 |
| 1.2. Представлення загальних статистичних даних по результатам педагогічного експерименту..... | 10 |
| РОЗДІЛ 2. Встановлення емпіричних формул за результатами експериментальних даних | |
| 2.1. Побудова математичної моделі залежності росту дітей Y від ваги X (пряма задача)..... | 13 |
| 2.2. Контрольні розрахунки для ранжированого ряду..... | 19 |
| Висновки..... | 22 |
| РОЗДІЛ 3. Дослідження оберненої задачі | |
| 3.1. Побудова математичної моделі залежності росту дітей X від ваги Y (обернена задача)..... | 23 |
| Висновки..... | 26 |
| 3.2. Апроксимація поліномом другого степеня..... | 27 |
| Висновки..... | 44 |
| РОЗДІЛ 4. Побудова і дослідження імітаційної моделі | |
| 4.1. Генерування істинних похибок для дослідження математичної моделі методом статистичних випробувань Монте Карло..... | 45 |
| 4.2. .Оцінка точності параметрів, отриманих із рішення системи нормальних рівнянь..... | 57 |
| 4.3. Висновки | 71 |
| Заключення..... | 72 |
| Літературні джерела..... | 73 |
| Додатки..... | 76 |



ПЕРЕДМОВА

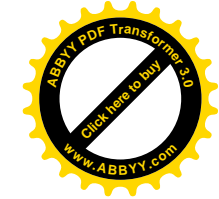
На основі фактичних даних залежності росту дітей від ваги встановлюються емпіричні формули, які дають змогу визначати нормальний розвиток дитини, або відхилення від нормального розвитку у даному конкретному регіоні [7].

Аналогічні дослідження бажано провести для кожного дитячого навчального закладу з тим, щоб прогнозувати і корегувати нормальний розвиток дітей.

На основі даних антропометричних досліджень дитячого дошкільного навчального закладу «Барвінок» Рівненської області Рокитнівського району с. Карпилівки, проведених Єремейчук Валентиною Василівною, студенткою групи ППН81, проведені математичні дослідження і побудовані відповідні математичні моделі, на основі яких появляється можливість встановлювати нормальний розвиток конкретної дитини для даного регіону, прогнозувати цей розвиток і, при необхідності, корегувати його.

Аналогічні дослідження необхідно виконувати в кожному дитячому навчальному закладі і, навіть, середній школі з тим, щоб на науковій основі рости майбутнє покоління.

Робота буде корисною для студентів і аспірантів педагогічних вузів, магістрантів факультету Кібернетики МЕНУ, які вивчають курс Педагогіки вищої школи, для вчителів і педагогів, медичних працівників.



РОЗДІЛ 1. Розробка методологічних основ побудови математичної моделі залежності росту дитини від ваги

1.1. Теоретико-методологічні аспекти онтодидактичного підходу представлення поліноміальної апроксимації

Слово «онтодидактика» означає наставляння («дидактика») по суті («онто»). Суть же онтодидактичних прийомів в тому, що знаходяться більш прості або більш короткі методи подачі вже усталеного теоретичного матеріалу.

Знаходження цих нових методів процес не простий і потребує постійної «налаштованості» на бажання покращити, вдосконалити подачу матеріалу.

В даній роботі розглядається новий підхід до подачі матеріалу по темі «Поліноміальна апроксимація», розробляються необхідні контролю і повна оцінка точності зрівноважених елементів, приводяться практичні результати по розробленому автором алгоритму в MS EXCEL [17,-с.5].

1. Знаходиться матриця коефіцієнтів нормальних рівнянь N

$$N = X X^T, \quad (1.1.1)$$

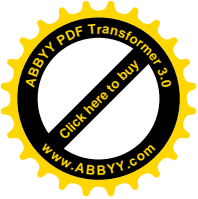
mxm mxn nxm

де X^T - транспонована матриця коефіцієнтів початкових умовних рівнянь X .

2. Визначається обернена матриця Q

$$Q = N^{-1}. \quad (1.1.2)$$

mxm mxm



3. Обчислюється вектор вільних членів **b**

$$\dots \quad \underset{1 \times m}{b} = \underset{1 \times n}{Y} \underset{n \times m}{X}^T \quad . \quad (1.1.3)$$

4. Вчислюється вектор невідомих **a**

$$\underset{1 \times m}{a} = \underset{1 \times m}{b} \underset{m \times m}{Q} \quad . \quad (1.1.4)$$

5. Виконується контроль обчислень

$$\underset{1 \times m}{b} = \underset{1 \times m}{a} \underset{m \times m}{N} \quad . \quad (1.1.5)$$

6. Знаходиться вектор зрівноважених значень **Y'**

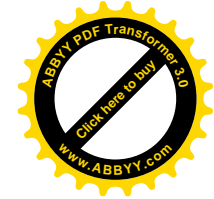
$$\underset{1 \times n}{Y'} = \underset{1 \times m}{a} \underset{m \times n}{X} \quad . \quad (1.1.6)$$

7. Обчислюється середня квадратична похибка (стандарт) одиниці ваги μ (мю)

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_1^n \underset{1 \times n}{V} \underset{n \times 1}{V}}{n - m - 1}} \quad , \quad (1.1.7)$$

де

$$\underset{1 \times n}{V} = \underset{1 \times n}{Y'} - \underset{1 \times n}{Y} \quad . \quad (1.1.8)$$



8. Знаходяться обернені ваги коефіцієнтів a_i апроксимуючого поліному, як діагональні елементи оберненої матриці **Q**

$$\frac{1}{P_{aj}} = Q_{jj} \quad , \quad (j = 0, 1, 2, \dots, m) \quad . \quad (1.1.9)$$

9. Їх стандарти (середні квадратичні похибки)

$$\sigma_{ai} = \sigma_0 \sqrt{\frac{1}{P_{ai}}} \quad , \quad (1.1.10)$$

де $\sigma_0 = \mu$.

10. Знаходиться допоміжна матриця **Q'**

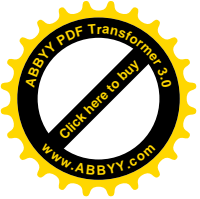
$$\dots \dots \dots \quad \underset{m \times n}{Q'} = \underset{m \times m}{Q} \underset{m \times n}{X} \quad . \quad (1.1.11)$$

11. Обчислюється обернена вага функції зрівноважених величин як добуток двох векторів построчно

$$\dots \dots \dots \quad \underset{1 \times 1}{\frac{1}{P_{y'}}} = \underset{1 \times m}{X'} \underset{m \times 1}{Q'} \quad . \quad (1.1.12)$$

12. Розраховуються стандарти зрівноваженої функції

$$\dots \dots \dots \quad \sigma_{y'} = \sigma_0 \sqrt{\frac{1}{P_{y'}}} \quad . \quad (1.1.13)$$



13. Контрольна формула при апроксимації поліномом першого степеня

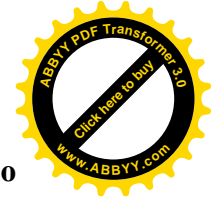
$$Y = a + bX \quad (1.1.14)$$

буде

$$m_{\varphi} = \sqrt{m_b^2 \left[X_{сн.} - \frac{1}{n} \sum X \right]^2 + \mu^2 / n.} \quad (1.1.15)$$

14. Крім того, ми апробуємо розроблену нами [15,- с.69] формулу оцінки точності зрівноваженої функції, яка для випадку апроксимації поліномом першого степеня набуде вигляду

$$m_{\varphi} = m_Y = \sqrt{m_a^2 (X)^2 + m_b^2 (X_0)^2 + 2\mu^2 Q_{12} X.} \quad (1.1.16)$$



1.2. Представлення загальних статистичних даних по результатам педагогічного експерименту

ДАНІ АНТРОПОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ:

ДИТЯЧИЙ САДОК «БАРВІНОК»

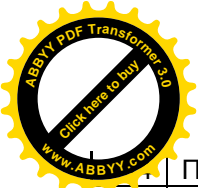
Рівненська обл., Рокитнівський район, с.Карпилівка

(проведені Єрмейчук Валентиною Василівною

гр.ППІН81 16.12.2009)

Таблиця 1. Дані антропометричних досліджень

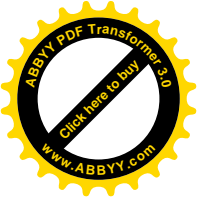
| № п/п | ПІП дитини | Вік (років) У | Довжина тіла(м) | Маса тіла(кг) |
|-------|---------------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| 1 | Антикало Дарина Андріївна | 5,3333 | 1,11 | 19 |
| 2 | Антикало Андрій Валерійович | 4,6666 | 1,13 | 21 |
| 3 | Бричка Владислав Петрович | 5,3333 | 1,12 | 18,5 |
| 4 | Бричка Віталій Іванович | 5,3333 | 1,07 | 18 |
| 5 | Бричка Вадим Миколайович | 5,0833 | 1,07 | 20 |
| 6 | Делейчук Валентин Михайлович | 5,25 | 1,08 | 20 |
| 7 | Захарченко Василь Владиславович | 5,6666 | 1,03 | 17 |
| 8 | Козаченко Авраам Федорович | 5,1666 | 1,04 | 17,5 |
| 9 | Костюк Яна Леонідівна | 5,4166 | 1,1 | 18 |
| 10 | Костогриз Марія Федорівна | 5,25 | 1,05 | 17,5 |
| 11 | Кляпко Богдан Юрійович | 5,6666 | 1,15 | 17 |
| 12 | Лук'янчук Олексій Федорович | 4,5 | 1,12 | 18 |
| 13 | Нестерчук Настя Володимирівна | 5,08333 | 1,03 | 18 |



| | | | | |
|----|-----------------------------------|--------|------|------|
| 7 | Пахнюк Данік Петрович | 4,5 | 1,1 | 18 |
| 15 | Трохимчук Катерина Василівна | 5 | 1,15 | 17,3 |
| 16 | Чубик Галина Іванівна | 5,25 | 1,05 | 17 |
| 17 | Чубик Аня Сергіївна | 4 | 1,06 | 16,8 |
| 18 | Шинкар Олександр Сергійович | 4,5 | 1,1 | 17 |
| 19 | Шупрудько Олександр Олександрович | 5,9166 | 1,15 | 22 |
| 20 | Осипчук Василь Русланович | 5,1666 | 1,22 | 25,5 |
| 21 | Бричка Владислав Вікторович | 5,5 | 1,15 | 18 |
| 22 | Бричка Вадим Русланович | 6 | 1,1 | 18 |
| 23 | Нестерчук Дмитро Вікторович | 5,9166 | 1,09 | 19,5 |
| 24 | Кисорець Аліна Вікторівна | 5 | 1,13 | 19 |
| 25 | Лук'янчук Вікторія Вікторівна | 5,25 | 1,11 | 17,5 |
| 26 | Лук'янчук Іван Богданович | 5,4166 | 1,07 | 17,5 |
| 27 | Боюка Петро Юрійович | 5,5 | 1,11 | 19 |
| 28 | Бричка Давид Володимирович | 5,25 | 1,14 | 21 |
| 29 | Нестерчук Анна Валентинівна | 6 | 1,16 | 18 |
| 30 | Лук'янчук Юлія Федорівна | 5 | 1,02 | 16 |
| 31 | Сорока Катерина Богданівна | 4 | 1,04 | 18 |
| 32 | Кутасевич Аліна Романівна | 4,1666 | 1,08 | 18 |
| 33 | Бричка Гнат Вікторович | 5 | 1,05 | 18,5 |
| 34 | Мартинюк Володимир Володимирович | 5,4166 | 1,09 | 19,5 |
| 35 | Мартинюк Василь Михайлович | 5,5833 | 1,14 | 19 |
| 36 | Мартинюк Олександр Михайлович | 4,5833 | 1,04 | 19,5 |
| 37 | Козаченко Альона Степанівна | 5,1666 | 1,05 | 17,5 |
| 38 | Чубик Іван Анатолійович | 5,0833 | 1,16 | 22,5 |
| 39 | Осипчук Катерина Василівна | 5,6666 | 1,12 | 18,4 |
| 40 | Бричка Юлія Іванівна | 5,5 | 1,04 | 17,8 |
| 41 | Мартинюк Назар Станіславович | 6 | 1,2 | 22,2 |
| 42 | Козаченко Андрій Богданович | 5 | 1,14 | 19,5 |
| 43 | Антикало Катерина Валентинівна | 3,25 | 1,02 | 18 |
| 44 | Бричка Валентина Михайлівна | 3,5833 | 1 | 15,8 |
| 45 | Бричка Ольга Вікторівна | 3,75 | 1,08 | 14,4 |
| 46 | Гончар Дарина Іванівна | 3,4166 | 1,1 | 15,2 |
| 47 | Григорчук Юлія Іванівна | 3,75 | 0,97 | 13,5 |



| | | | | |
|----|--------------------------------|-----------|------|--------|
| 48 | Григорчук Лілія Адамівна | 3,3333 | 1,02 | |
| 49 | Дракус Вікторія Анатоліївна | 4,3333 | 1,04 | 15,6 |
| 50 | Ковалевич Юлія Олександрівна | 3,3333 | 0,99 | 14 |
| 51 | Лук'янчук Микита Богданович | 4,4166 | 1,04 | 16 |
| 52 | Лук'янчук Наталія Федорівна | 3,0833 | 0,95 | 14,5 |
| 53 | Мартинюк Ольга Юріївна | 4,0833 | 1,06 | 16,7 |
| 54 | Мисюкевич Оксана Володимирівна | 3,6666 | 1,04 | 15,5 |
| 55 | Сорока Наталія Володимирівна | 4 | 1,04 | 16,7 |
| 56 | Сорока Катерина Юріївна | 3,5833 | 1,02 | 15,8 |
| 57 | Чебанова Аня Миколаївна | 3,9166 | 1,06 | 13,5 |
| 58 | Антикало Аня Володимирівна | 3,5 | 1,07 | 13,9 |
| 59 | Делейчук Вадим Федорович | 4,25 | 1,13 | 14,9 |
| 60 | Ковалець Юлія Станіславівна | 4 | 0,96 | 13,4 |
| 61 | Антикало Віка Михайлівна | 2,4166 | 0,95 | 15,2 |
| 62 | Бричка Олександр Степанович | 2,75 | 0,97 | 15,5 |
| 63 | Боюка Андрій Іванович | 2,0833 | 0,88 | 12 |
| 64 | Григорчук Дмитро Володимирович | 2,5 | 0,98 | 15,2 |
| 65 | Григорчук Роман Валерійович | 2,6666 | 0,98 | 16,4 |
| 66 | Кулик Аліна Петрівна | 2,9166 | 0,95 | 13,7 |
| 67 | Козаченко Артем Васильович | 2 | 0,88 | 12 |
| 68 | Прокопчук Аня Богданівна | 2,75 | 0,94 | 14,5 |
| 69 | Примак Дмитро Олександрович | 2,8333 | 1,03 | 17,5 |
| 70 | Примак Діана Олександрівна | 2,8333 | 0,94 | 13,5 |
| 71 | Сорока Вадим Трохимович | 2,5 | 0,91 | 13,5 |
| | $\Sigma =$ | 313,58143 | | 1217,7 |
| | | Y | | X |

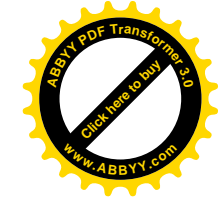


РОЗДІЛ 2. Встановлення емпіричних формул за результатами експериментальних даних

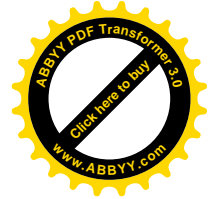
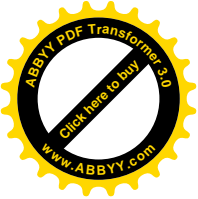
2.1. Побудова математичної моделі залежності росту дітей X від ваги Y (пряма задача)

Таблиця 2. Обчислювальна таблиця

| № | X0 | X^2 | Y*X | Y^2 |
|----|----|--------|--------|--------|
| 1 | 1 | 361 | 21,09 | 1,2321 |
| 2 | 1 | 441 | 23,73 | 1,2769 |
| 3 | 1 | 342,25 | 20,72 | 1,2544 |
| 4 | 1 | 324 | 19,26 | 1,1449 |
| 5 | 1 | 400 | 21,4 | 1,1449 |
| 6 | 1 | 400 | 21,6 | 1,1664 |
| 7 | 1 | 289 | 17,51 | 1,0609 |
| 8 | 1 | 306,25 | 18,2 | 1,0816 |
| 9 | 1 | 324 | 19,8 | 1,21 |
| 10 | 1 | 306,25 | 18,375 | 1,1025 |
| 11 | 1 | 289 | 19,55 | 1,3225 |
| 12 | 1 | 324 | 20,16 | 1,2544 |
| 13 | 1 | 324 | 18,54 | 1,0609 |
| 14 | 1 | 324 | 19,8 | 1,21 |
| 15 | 1 | 299,29 | 19,895 | 1,3225 |
| 16 | 1 | 289 | 17,85 | 1,1025 |
| 17 | 1 | 282,24 | 17,808 | 1,1236 |
| 18 | 1 | 289 | 18,7 | 1,21 |
| 19 | 1 | 484 | 25,3 | 1,3225 |
| 20 | 1 | 650,25 | 31,11 | 1,4884 |
| 21 | 1 | 324 | 20,7 | 1,3225 |
| 22 | 1 | 324 | 19,8 | 1,21 |
| 23 | 1 | 380,25 | 21,255 | 1,1881 |
| 24 | 1 | 361 | 21,47 | 1,2769 |



| | | | | |
|----|---|--------|--------|--------|
| 25 | 1 | 306,25 | 19,425 | 1,2321 |
| 26 | 1 | 306,25 | 18,725 | 1,1449 |
| 27 | 1 | 361 | 21,09 | 1,2321 |
| 28 | 1 | 441 | 23,94 | 1,2996 |
| 29 | 1 | 324 | 20,88 | 1,3456 |
| 30 | 1 | 256 | 16,32 | 1,0404 |
| 31 | 1 | 324 | 18,72 | 1,0816 |
| 32 | 1 | 324 | 19,44 | 1,1664 |
| 33 | 1 | 342,25 | 19,425 | 1,1025 |
| 34 | 1 | 380,25 | 21,255 | 1,1881 |
| 35 | 1 | 361 | 21,66 | 1,2996 |
| 36 | 1 | 380,25 | 20,28 | 1,0816 |
| 37 | 1 | 306,25 | 18,375 | 1,1025 |
| 38 | 1 | 506,25 | 26,1 | 1,3456 |
| 39 | 1 | 338,56 | 20,608 | 1,2544 |
| 40 | 1 | 316,84 | 18,512 | 1,0816 |
| 41 | 1 | 492,84 | 26,64 | 1,44 |
| 42 | 1 | 380,25 | 22,23 | 1,2996 |
| 43 | 1 | 324 | 18,36 | 1,0404 |
| 44 | 1 | 249,64 | 15,8 | 1 |
| 45 | 1 | 207,36 | 15,552 | 1,1664 |
| 46 | 1 | 231,04 | 16,72 | 1,21 |
| 47 | 1 | 182,25 | 13,095 | 0,9409 |
| 48 | 1 | 204,49 | 14,586 | 1,0404 |
| 49 | 1 | 243,36 | 16,224 | 1,0816 |
| 50 | 1 | 196 | 13,86 | 0,9801 |
| 51 | 1 | 256 | 16,64 | 1,0816 |
| 52 | 1 | 210,25 | 13,775 | 0,9025 |
| 53 | 1 | 278,89 | 17,702 | 1,1236 |
| 54 | 1 | 240,25 | 16,12 | 1,0816 |
| 55 | 1 | 278,89 | 17,368 | 1,0816 |
| 56 | 1 | 249,64 | 16,116 | 1,0404 |
| 57 | 1 | 182,25 | 14,31 | 1,1236 |
| 58 | 1 | 193,21 | 14,873 | 1,1449 |
| 59 | 1 | 222,01 | 16,837 | 1,2769 |
| 60 | 1 | 179,56 | 12,864 | 0,9216 |



| | | | | |
|----|----|----------|----------|---------|
| 61 | 1 | 231,04 | 14,44 | 0,9025 |
| 62 | 1 | 240,25 | 15,035 | 0,9409 |
| 63 | 1 | 144 | 10,56 | 0,7744 |
| 64 | 1 | 231,04 | 14,896 | 0,9604 |
| 65 | 1 | 268,96 | 16,072 | 0,9604 |
| 66 | 1 | 187,69 | 13,015 | 0,9025 |
| 67 | 1 | 144 | 10,56 | 0,7744 |
| 67 | 1 | 210,25 | 13,63 | 0,8836 |
| 69 | 1 | 306,25 | 18,025 | 1,0609 |
| 70 | 1 | 182,25 | 12,69 | 0,8836 |
| 71 | 1 | 182,25 | 12,285 | 0,8281 |
| Σ | 71 | 21342,09 | 1299,258 | 79,9374 |

Пряма задача

Система нормальних рівнянь

| | |
|-----------|---------------|
| $b[X^2]+$ | $a[X]-[YX]=0$ |
| $b[X]+$ | $na- [Y] =0$ |

Матриця коефіцієнтів нормальних рівнянь

| | |
|----------|--------|
| 21342,09 | 1217,7 |
| 1217,7 | 71 |

Вектор вільних членів

| |
|----------|
| 1299,258 |
| 75,16 |

Обернена матриця Q

| | |
|----------|------------|
| 0,002185 | -0,0374733 |
| -0,03747 | 0,6567787 |

Шукані коефіцієнти a і b

| | |
|----|-----------|
| a= | 0,0223106 |
| b= | 0,6759486 |

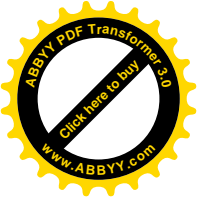
Контрольне визначення функцією "ЛИНЕЙН"

| | | | | |
|-----|----------|----------|-------------|----------|
| 106 | a | b | Fтабл= | 3,129644 |
| 107 | 0,022311 | 0,675949 | a | b |
| 108 | 0,002149 | 0,037259 | m(a) | m(b) |
| 109 | 0,609688 | 0,045975 | R^2 | μ |
| 110 | 107,7815 | 69 | Fкритерій | n-m-1 |
| 111 | 0,227815 | 0,145844 | (Y'-Ycp)^2 | [VV] |
| 112 | 10,38179 | 18,14198 | t(0,05;69)= | 1,994945 |
| 113 | t(a) | t(b) | | |
| | F | G | H | I |

За результатами досліджень нами отримана формула

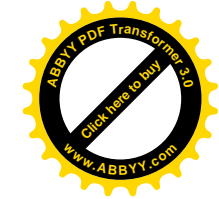
$$Y = 0.022311X + 0.675948 \quad (2.1.1)$$

де Y- ріст (м); X – вага (кг)

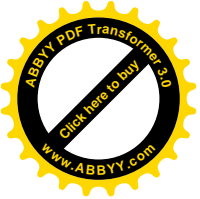


Таблиця 3.Результати зрівноваження

| № | Y'зрівнов. | V=Y'-Y | V^2 |
|----|------------|----------|----------|
| 1 | 1,09985 | -0,01015 | 0,000103 |
| 2 | 1,144472 | 0,014472 | 0,000209 |
| 3 | 1,088695 | -0,0313 | 0,00098 |
| 4 | 1,07754 | 0,00754 | 5,68E-05 |
| 5 | 1,122161 | 0,052161 | 0,002721 |
| 6 | 1,122161 | 0,042161 | 0,001778 |
| 7 | 1,055229 | 0,025229 | 0,000637 |
| 8 | 1,066385 | 0,026385 | 0,000696 |
| 9 | 1,07754 | -0,02246 | 0,000504 |
| 10 | 1,066385 | 0,016385 | 0,000268 |
| 11 | 1,055229 | -0,09477 | 0,008981 |
| 12 | 1,07754 | -0,04246 | 0,001803 |
| 13 | 1,07754 | 0,04754 | 0,00226 |
| 14 | 1,07754 | -0,02246 | 0,000504 |
| 15 | 1,061922 | -0,08808 | 0,007758 |
| 16 | 1,055229 | 0,005229 | 2,73E-05 |
| 17 | 1,050767 | -0,00923 | 8,52E-05 |
| 18 | 1,055229 | -0,04477 | 0,002004 |
| 19 | 1,166782 | 0,016782 | 0,000282 |
| 20 | 1,24487 | 0,02487 | 0,000618 |
| 21 | 1,07754 | -0,07246 | 0,00525 |
| 22 | 1,07754 | -0,02246 | 0,000504 |
| 23 | 1,111006 | 0,021006 | 0,000441 |
| 24 | 1,09985 | -0,03015 | 0,000909 |
| 25 | 1,066385 | -0,04362 | 0,001902 |
| 26 | 1,066385 | -0,00362 | 1,31E-05 |
| 27 | 1,09985 | -0,01015 | 0,000103 |
| 28 | 1,144472 | 0,004472 | 2E-05 |
| 29 | 1,07754 | -0,08246 | 0,0068 |
| 30 | 1,032919 | 0,012919 | 0,000167 |
| 31 | 1,07754 | 0,03754 | 0,001409 |
| 32 | 1,07754 | -0,00246 | 6,05E-06 |



| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| 33 | 1,088695 | 0,038695 | 0,001497 |
| 34 | 1,111006 | 0,021006 | 0,000441 |
| 35 | 1,09985 | -0,04015 | 0,001612 |
| 36 | 1,111006 | 0,071006 | 0,005042 |
| 37 | 1,066385 | 0,016385 | 0,000268 |
| 38 | 1,177938 | 0,017938 | 0,000322 |
| 39 | 1,086464 | -0,03354 | 0,001125 |
| 40 | 1,073078 | 0,033078 | 0,001094 |
| 41 | 1,171244 | -0,02876 | 0,000827 |
| 42 | 1,111006 | -0,02899 | 0,000841 |
| 43 | 1,07754 | 0,05754 | 0,003311 |
| 44 | 1,028456 | 0,028456 | 0,00081 |
| 45 | 0,997222 | -0,08278 | 0,006852 |
| 46 | 1,01507 | -0,08493 | 0,007213 |
| 47 | 0,977142 | 0,007142 | 5,1E-05 |
| 48 | 0,994991 | -0,02501 | 0,000625 |
| 49 | 1,023994 | -0,01601 | 0,000256 |
| 50 | 0,988297 | -0,0017 | 2,9E-06 |
| 51 | 1,032919 | -0,00708 | 5,01E-05 |
| 52 | 0,999453 | 0,049453 | 0,002446 |
| 53 | 1,048536 | -0,01146 | 0,000131 |
| 54 | 1,021763 | -0,01824 | 0,000333 |
| 55 | 1,048536 | 0,008536 | 7,29E-05 |
| 56 | 1,028456 | 0,008456 | 7,15E-05 |
| 57 | 0,977142 | -0,08286 | 0,006865 |
| 58 | 0,986066 | -0,08393 | 0,007045 |
| 59 | 1,008377 | -0,12162 | 0,014792 |
| 60 | 0,974911 | 0,014911 | 0,000222 |
| 61 | 1,01507 | 0,06507 | 0,004234 |
| 62 | 1,021763 | 0,051763 | 0,002679 |
| 63 | 0,943676 | 0,063676 | 0,004055 |
| 64 | 1,01507 | 0,03507 | 0,00123 |
| 65 | 1,041843 | 0,061843 | 0,003825 |
| 66 | 0,981604 | 0,031604 | 0,000999 |
| 67 | 0,943676 | 0,063676 | 0,004055 |
| 67 | 0,999453 | 0,059453 | 0,003535 |



| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| 69 | 1,066385 | 0,036385 | 0,001324 |
| 70 | 0,977142 | 0,037142 | 0,00138 |
| 71 | 0,977142 | 0,067142 | 0,004508 |
| Σ | 75,16 | 3,55E-13 | 0,145844 |

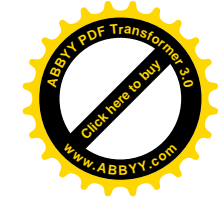
За результатами зрівноваження отримана середня квадратична похибка одиниці ваги

$$\mu = 0,045975 \text{ метра}$$

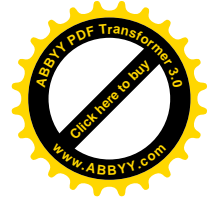
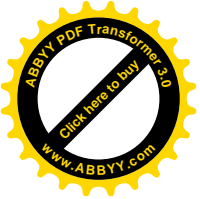
2.2. Контрольні розрахунки для ранжированного ряду

Таблиця 4. Вихідні дані ранжированного ряду

| № | Довжина тіла(м) | Маса тіла(кг) |
|----|-----------------|---------------|
| 1 | 0,88 | 12 |
| 2 | 0,88 | 12 |
| 3 | 0,91 | 13,5 |
| 4 | 0,94 | 14,5 |
| 5 | 0,94 | 13,5 |
| 6 | 0,95 | 14,5 |
| 7 | 0,95 | 15,2 |
| 8 | 0,95 | 13,7 |
| 9 | 0,96 | 13,4 |
| 10 | 0,97 | 13,5 |
| 11 | 0,97 | 15,5 |
| 12 | 0,98 | 15,2 |
| 13 | 0,98 | 16,4 |
| 14 | 0,99 | 14 |
| 15 | 1 | 15,8 |



| | | |
|----|------|------|
| 16 | 1,02 | 16 |
| 17 | 1,02 | 18 |
| 18 | 1,02 | 14,3 |
| 19 | 1,02 | 15,8 |
| 20 | 1,03 | 17 |
| 21 | 1,03 | 18 |
| 22 | 1,03 | 17,5 |
| 23 | 1,04 | 17,5 |
| 24 | 1,04 | 18 |
| 25 | 1,04 | 19,5 |
| 26 | 1,04 | 17,8 |
| 27 | 1,04 | 15,6 |
| 28 | 1,04 | 16 |
| 29 | 1,04 | 15,5 |
| 30 | 1,04 | 16,7 |
| 31 | 1,05 | 17,5 |
| 32 | 1,05 | 17 |
| 33 | 1,05 | 18,5 |
| 34 | 1,05 | 17,5 |
| 35 | 1,06 | 16,8 |
| 36 | 1,06 | 16,7 |
| 37 | 1,06 | 13,5 |
| 38 | 1,07 | 18 |
| 39 | 1,07 | 20 |
| 40 | 1,07 | 17,5 |
| 41 | 1,07 | 13,9 |
| 42 | 1,08 | 20 |
| 43 | 1,08 | 18 |
| 44 | 1,08 | 14,4 |
| 45 | 1,09 | 19,5 |
| 46 | 1,09 | 19,5 |
| 47 | 1,1 | 18 |
| 48 | 1,1 | 18 |
| 49 | 1,1 | 17 |
| 50 | 1,1 | 18 |
| 51 | 1,1 | 15,2 |



| | | |
|----|-------|--------|
| 52 | 1,11 | 19 |
| 53 | 1,11 | 17,5 |
| 54 | 1,11 | 19 |
| 55 | 1,12 | 18,5 |
| 56 | 1,12 | 18 |
| 57 | 1,12 | 18,4 |
| 58 | 1,13 | 21 |
| 59 | 1,13 | 19 |
| 60 | 1,13 | 14,9 |
| 61 | 1,14 | 21 |
| 62 | 1,14 | 19 |
| 63 | 1,14 | 19,5 |
| 64 | 1,15 | 17 |
| 65 | 1,15 | 17,3 |
| 66 | 1,15 | 22 |
| 67 | 1,15 | 18 |
| 67 | 1,16 | 18 |
| 69 | 1,16 | 22,5 |
| 70 | 1,2 | 22,2 |
| 71 | 1,22 | 25,5 |
| Σ | 75,16 | 1217,7 |

Для ранжированого ряду

| | | | | |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 106 | a | b | Fрозр= | 3,129643983 |
| 107 | 0,022310625 | 0,675948614 | a | b |
| 108 | 0,002149016 | 0,037258808 | m(a) | m(b) |
| 109 | 0,609687634 | 0,045974755 | R^2 | μ |
| 110 | 107,7814858 | 69 | Fкритерій | n-m-1 |
| 111 | 0,227815366 | 0,145843789 | (Y'-Ycp)^2 | [VV] |
| 112 | 10,38178625 | 18,14198165 | t(0,05;69)= | 1,99494539 |
| 113 | t(a) | t(b) | | |
| 114 | N | O | P | Q |

Для ранжированого ряду

$$Y = 0.022311X + 0.675948 \quad (2.1.1)$$

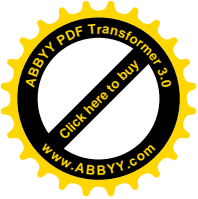
ВИСНОВКИ

1. Так як $F_{табл} < F_{розр}$ $3,129 < 107,7815$, то з надійністю $P=0.95$ можна вважати, що побудована нами математична модель відповідає експериментальним даним і її можна використовувати для практичних розрахунків.
2. Статистично значимим являється коефіцієнт a $t(a)=10,3818 > 3.130$.
3. Статистично значимим є коефіцієнт b $t(b)= 18.142 > 3.13$.
4. Середня квадратична похибка одиниці ваги $\mu = 0,046$ метра
5. Середні квадратичні похибки визначених коефіцієнтів: $m(a) = 0.002149$ і $m(b) = 0.037259$.
6. За результатами досліджень нами отримана формула

$$Y = 0.022311X + 0,675949 \quad , \quad (2.2.1)$$

де Y - ріст(метри) ; X - вага (кг).

7. Для ранжированого ряду отримані автентичні результати.
8. Коефіцієнт кореляції $r = R = 0.781$, що говорить про високий зв'язок між X і Y .

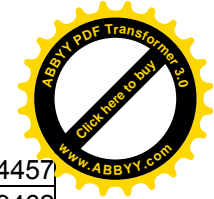


РОЗДІЛ 3. Дослідження оберненої задачі

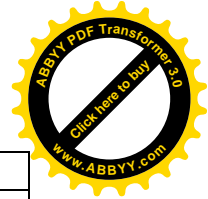
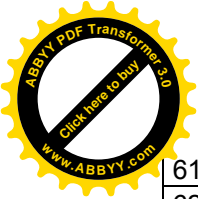
3.1. Побудова математичної моделі залежності росту дитини X від ваги Y (обернена задача)

Таблиця 5. Вихідні дані оберненої задачі

| | Y | X | | | |
|----|---------------|-----------------|------------|----------|----------|
| № | Маса тіла(кг) | Довжина тіла(м) | Y'зрівн | V=Y'-Y | V^2 |
| 1 | 12 | 0,88 | 12,2702915 | 0,270292 | 0,073058 |
| 2 | 12 | 0,88 | 12,2702915 | 0,270292 | 0,073058 |
| 3 | 13,5 | 0,91 | 13,0901085 | -0,40989 | 0,168011 |
| 4 | 14,5 | 0,94 | 13,9099254 | -0,59007 | 0,348188 |
| 5 | 13,5 | 0,94 | 13,9099254 | 0,409925 | 0,168039 |
| 6 | 14,5 | 0,95 | 14,1831978 | -0,3168 | 0,100364 |
| 7 | 15,2 | 0,95 | 14,1831978 | -1,0168 | 1,033887 |
| 8 | 13,7 | 0,95 | 14,1831978 | 0,483198 | 0,23348 |
| 9 | 13,4 | 0,96 | 14,4564701 | 1,05647 | 1,116129 |
| 10 | 13,5 | 0,97 | 14,7297424 | 1,229742 | 1,512266 |
| 11 | 15,5 | 0,97 | 14,7297424 | -0,77026 | 0,593297 |
| 12 | 15,2 | 0,98 | 15,0030147 | -0,19699 | 0,038803 |
| 13 | 16,4 | 0,98 | 15,0030147 | -1,39699 | 1,951568 |
| 14 | 14 | 0,99 | 15,276287 | 1,276287 | 1,628909 |
| 15 | 15,8 | 1 | 15,5495594 | -0,25044 | 0,062721 |
| 16 | 16 | 1,02 | 16,096104 | 0,096104 | 0,009236 |
| 17 | 18 | 1,02 | 16,096104 | -1,9039 | 3,62482 |
| 18 | 14,3 | 1,02 | 16,096104 | 1,796104 | 3,22599 |
| 19 | 15,8 | 1,02 | 16,096104 | 0,296104 | 0,087678 |
| 20 | 17 | 1,03 | 16,3693763 | -0,63062 | 0,397686 |
| 21 | 18 | 1,03 | 16,3693763 | -1,63062 | 2,658934 |
| 22 | 17,5 | 1,03 | 16,3693763 | -1,13062 | 1,27831 |
| 23 | 17,5 | 1,04 | 16,6426486 | -0,85735 | 0,735051 |
| 24 | 18 | 1,04 | 16,6426486 | -1,35735 | 1,842403 |



| | | | | | |
|----|------|------|------------|----------|----------|
| 25 | 19,5 | 1,04 | 16,6426486 | -2,85735 | 8,164457 |
| 26 | 17,8 | 1,04 | 16,6426486 | -1,15735 | 1,339462 |
| 27 | 15,6 | 1,04 | 16,6426486 | 1,042649 | 1,087116 |
| 28 | 16 | 1,04 | 16,6426486 | 0,642649 | 0,412997 |
| 29 | 15,5 | 1,04 | 16,6426486 | 1,142649 | 1,305646 |
| 30 | 16,7 | 1,04 | 16,6426486 | -0,05735 | 0,003289 |
| 31 | 17,5 | 1,05 | 16,915921 | -0,58408 | 0,341148 |
| 32 | 17 | 1,05 | 16,915921 | -0,08408 | 0,007069 |
| 33 | 18,5 | 1,05 | 16,915921 | -1,58408 | 2,509306 |
| 34 | 17,5 | 1,05 | 16,915921 | -0,58408 | 0,341148 |
| 35 | 16,8 | 1,06 | 17,1891933 | 0,389193 | 0,151471 |
| 36 | 16,7 | 1,06 | 17,1891933 | 0,489193 | 0,23931 |
| 37 | 13,5 | 1,06 | 17,1891933 | 3,689193 | 13,61015 |
| 38 | 18 | 1,07 | 17,4624656 | -0,53753 | 0,288943 |
| 39 | 20 | 1,07 | 17,4624656 | -2,53753 | 6,439081 |
| 40 | 17,5 | 1,07 | 17,4624656 | -0,03753 | 0,001409 |
| 41 | 13,9 | 1,07 | 17,4624656 | 3,562466 | 12,69116 |
| 42 | 20 | 1,08 | 17,7357379 | -2,26426 | 5,126883 |
| 43 | 18 | 1,08 | 17,7357379 | -0,26426 | 0,069834 |
| 44 | 14,4 | 1,08 | 17,7357379 | 3,335738 | 11,12715 |
| 45 | 19,5 | 1,09 | 18,0090102 | -1,49099 | 2,22305 |
| 46 | 19,5 | 1,09 | 18,0090102 | -1,49099 | 2,22305 |
| 47 | 18 | 1,1 | 18,2822826 | 0,282283 | 0,079683 |
| 48 | 18 | 1,1 | 18,2822826 | 0,282283 | 0,079683 |
| 49 | 17 | 1,1 | 18,2822826 | 1,282283 | 1,644249 |
| 50 | 18 | 1,1 | 18,2822826 | 0,282283 | 0,079683 |
| 51 | 15,2 | 1,1 | 18,2822826 | 3,082283 | 9,500466 |
| 52 | 19 | 1,11 | 18,5555549 | -0,44445 | 0,197531 |
| 53 | 17,5 | 1,11 | 18,5555549 | 1,055555 | 1,114196 |
| 54 | 19 | 1,11 | 18,5555549 | -0,44445 | 0,197531 |
| 55 | 18,5 | 1,12 | 18,8288272 | 0,328827 | 0,108127 |
| 56 | 18 | 1,12 | 18,8288272 | 0,828827 | 0,686955 |
| 57 | 18,4 | 1,12 | 18,8288272 | 0,428827 | 0,183893 |
| 58 | 21 | 1,13 | 19,1020995 | -1,8979 | 3,602026 |
| 59 | 19 | 1,13 | 19,1020995 | 0,1021 | 0,010424 |
| 60 | 14,9 | 1,13 | 19,1020995 | 4,2021 | 17,65764 |



| | | | | | |
|----|--------|-------|------------|----------|----------|
| 61 | 21 | 1,14 | 19,3753718 | -1,62463 | 2,639417 |
| 62 | 19 | 1,14 | 19,3753718 | 0,375372 | 0,140904 |
| 63 | 19,5 | 1,14 | 19,3753718 | -0,12463 | 0,015532 |
| 64 | 17 | 1,15 | 19,6486442 | 2,648644 | 7,015316 |
| 65 | 17,3 | 1,15 | 19,6486442 | 2,348644 | 5,516129 |
| 66 | 22 | 1,15 | 19,6486442 | -2,35136 | 5,528874 |
| 67 | 18 | 1,15 | 19,6486442 | 1,648644 | 2,718028 |
| 67 | 18 | 1,16 | 19,9219165 | 1,921916 | 3,693763 |
| 69 | 22,5 | 1,16 | 19,9219165 | -2,57808 | 6,646515 |
| 70 | 22,2 | 1,2 | 21,0150058 | -1,18499 | 1,404211 |
| 71 | 25,5 | 1,22 | 21,5615504 | -3,93845 | 15,51139 |
| Σ | 1217,7 | 75,16 | 1217,7 | -3,7E-13 | 178,6372 |

За результатами зрівноваження отримана середня квадратична похибка одиниці ваги

$$\mu = 1,60902 \text{ кг}$$

| Визначення функцією "ЛИНЕЙН" | | | | |
|--|-------------|--------------|-------------|----------|
| 79 | a | b | Fтабл= | 3,129644 |
| 80 | 27,32723202 | -11,77767265 | a | b |
| 81 | 2,632228343 | 2,792990098 | m(a) | m(b) |
| 82 | 0,609687634 | 1,609019749 | R^2 | μ |
| 83 | 107,7814858 | 69 | Fкритерій | n-m-1 |
| 84 | 279,0402906 | 178,6371742 | (Y'-Ycp)^2 | [VV] |
| 85 | 10,38178625 | 4,216868747 | t(0,05;69)= | 1,994945 |
| 86 | t(a) | t(b) | | |
| 87 | Q | R | S | T |
| За результатами досліджень нами отримана формула | | | | |
| Y= | 27,327232 | X+ | -11,777673 | (3.1.1) |

| | | | | |
|--|----------------|---------------|--|--|
| | | | | |
| | Де Y-вага(кг); | X-ріст(метри) | | |

ВИСНОВКИ

1. Так як Fтабл < Fрозр 3,129 < 107.7815 , то з надійністю P=0.95 можна вважати, що побудована нами математична модель відповідає експериментальним даним і її можна використовувати для практичних розрахунків.

2. Статистично значимим являється коефіцієнт a t(a)=10,600>1.995.

3. Статистично значимим є коефіцієнт b t(b)=| -4.217|>1.995.

4. Середня квадратична похибка одиниці ваги μ= 1,609 кг. .

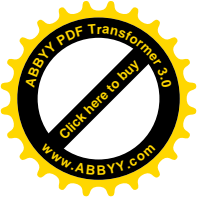
5. Середні квадратичні похибки визначених коефіцієнтів: m(a)= 2.632 і m(b)=2.793 .

6. За результатами досліджень нами отримана формула

$$Y = 27.32723X - 11,7777 \quad , \quad (3.1.1)$$

де Y- вага (кг); X- ріст (метри).

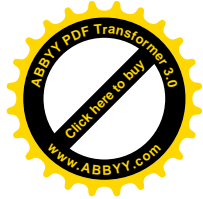
7. Коефіцієнт кореляції r = R=0.781 , що говорить про високий зв'язок між X і Y.



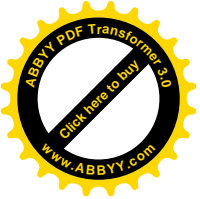
3.2. Апроксимація поліномом другого степеня

Таблиця 6. Матриця коефіцієнтів вихідних рівнянь X

| X0 | Довжина тіла(м) | X^2 |
|----|-----------------|--------|
| 1 | 0,88 | 0,7744 |
| 1 | 0,88 | 0,7744 |
| 1 | 0,91 | 0,8281 |
| 1 | 0,94 | 0,8836 |
| 1 | 0,94 | 0,8836 |
| 1 | 0,95 | 0,9025 |
| 1 | 0,95 | 0,9025 |
| 1 | 0,95 | 0,9025 |
| 1 | 0,96 | 0,9216 |
| 1 | 0,97 | 0,9409 |
| 1 | 0,97 | 0,9409 |
| 1 | 0,98 | 0,9604 |
| 1 | 0,98 | 0,9604 |
| 1 | 0,99 | 0,9801 |
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1,02 | 1,0404 |
| 1 | 1,02 | 1,0404 |
| 1 | 1,02 | 1,0404 |
| 1 | 1,02 | 1,0404 |
| 1 | 1,03 | 1,0609 |
| 1 | 1,03 | 1,0609 |
| 1 | 1,03 | 1,0609 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |



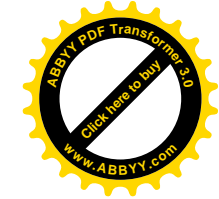
| | | |
|---|------|--------|
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,05 | 1,1025 |
| 1 | 1,05 | 1,1025 |
| 1 | 1,05 | 1,1025 |
| 1 | 1,05 | 1,1025 |
| 1 | 1,06 | 1,1236 |
| 1 | 1,06 | 1,1236 |
| 1 | 1,06 | 1,1236 |
| 1 | 1,07 | 1,1449 |
| 1 | 1,07 | 1,1449 |
| 1 | 1,07 | 1,1449 |
| 1 | 1,07 | 1,1449 |
| 1 | 1,08 | 1,1664 |
| 1 | 1,08 | 1,1664 |
| 1 | 1,08 | 1,1664 |
| 1 | 1,09 | 1,1881 |
| 1 | 1,09 | 1,1881 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,11 | 1,2321 |
| 1 | 1,11 | 1,2321 |
| 1 | 1,11 | 1,2321 |
| 1 | 1,12 | 1,2544 |
| 1 | 1,12 | 1,2544 |
| 1 | 1,12 | 1,2544 |
| 1 | 1,13 | 1,2769 |
| 1 | 1,13 | 1,2769 |
| 1 | 1,13 | 1,2769 |
| 1 | 1,14 | 1,2996 |
| 1 | 1,14 | 1,2996 |
| 1 | 1,14 | 1,2996 |
| 1 | 1,15 | 1,3225 |
| 1 | 1,15 | 1,3225 |



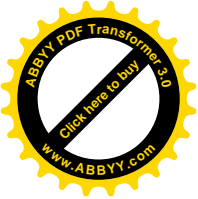
| | | |
|----|-------|---------|
| 1 | 1,15 | 1,3225 |
| 1 | 1,15 | 1,3225 |
| 1 | 1,16 | 1,3456 |
| 1 | 1,16 | 1,3456 |
| 1 | 1,2 | 1,44 |
| 1 | 1,22 | 1,4884 |
| 71 | 75,16 | 79,9374 |

Таблиця 7. Вектор Y

| Y |
|---------------|
| Маса тіла(кг) |
| 12 |
| 12 |
| 13,5 |
| 14,5 |
| 13,5 |
| 14,5 |
| 15,2 |
| 13,7 |
| 13,4 |
| 13,5 |
| 15,5 |
| 15,2 |
| 16,4 |
| 14 |
| 15,8 |
| 16 |
| 18 |
| 14,3 |
| 15,8 |
| 17 |



| |
|------|
| 18 |
| 17,5 |
| 17,5 |
| 18 |
| 19,5 |
| 17,8 |
| 15,6 |
| 16 |
| 15,5 |
| 16,7 |
| 17,5 |
| 17 |
| 18,5 |
| 17,5 |
| 16,8 |
| 16,7 |
| 13,5 |
| 18 |
| 20 |
| 17,5 |
| 13,9 |
| 20 |
| 18 |
| 14,4 |
| 19,5 |
| 19,5 |
| 18 |
| 18 |
| 17 |
| 18 |
| 15,2 |
| 19 |
| 17,5 |
| 19 |
| 18,5 |
| 18 |



| |
|------|
| 18,4 |
| 21 |
| 19 |
| 14,9 |
| 21 |
| 19 |
| 19,5 |
| 17 |
| 17,3 |
| 22 |
| 18 |
| 18 |
| 22,5 |
| 22,2 |
| 25,5 |

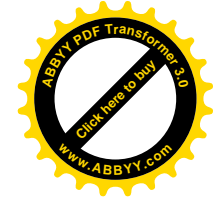
Результати зрівноваження

Комп’ютерна формула розрахунку Y’зрівнов.

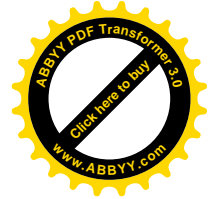
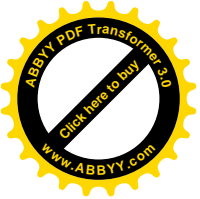
$$=SABS107*Y3+SACS107*X3+SADS107*W3 \quad (3.2.1)$$

Таблиця 9. Результати апроксимації поліномом 2 степеня

| № | Y’зрівн. | V=Y’- Y | V^2 |
|---|----------|------------|----------|
| 1 | 12,80183 | 0,801832 | 0,642935 |
| 2 | 12,80183 | 0,801832 | 0,642935 |
| 3 | 13,40353 | -0,09647 | 0,009307 |
| 4 | 14,04864 | -0,45136 | 0,203728 |
| 5 | 14,04864 | 0,548637 | 0,301003 |
| 6 | 14,27332 | -0,22668 | 0,051384 |
| 7 | 14,27332 | -0,92668 | 0,858735 |



| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| 8 | 14,27332 | 0,57332 | 0,328696 |
| 9 | 14,50283 | 1,102827 | 1,216228 |
| 10 | 14,73716 | 1,237157 | 1,530558 |
| 11 | 14,73716 | -0,76284 | 0,581929 |
| 12 | 14,97631 | -0,22369 | 0,050037 |
| 13 | 14,97631 | -1,42369 | 2,02689 |
| 14 | 15,22029 | 1,220288 | 1,489104 |
| 15 | 15,46909 | -0,33091 | 0,109502 |
| 16 | 15,98116 | -0,01884 | 0,000355 |
| 17 | 15,98116 | -2,01884 | 4,075709 |
| 18 | 15,98116 | 1,681161 | 2,826304 |
| 19 | 15,98116 | 0,181161 | 0,032819 |
| 20 | 16,24443 | -0,75557 | 0,570882 |
| 21 | 16,24443 | -1,75557 | 3,082016 |
| 22 | 16,24443 | -1,25557 | 1,576449 |
| 23 | 16,51253 | -0,98747 | 0,975101 |
| 24 | 16,51253 | -1,48747 | 2,212574 |
| 25 | 16,51253 | -2,98747 | 8,92499 |
| 26 | 16,51253 | -1,28747 | 1,657585 |
| 27 | 16,51253 | 0,912528 | 0,832707 |
| 28 | 16,51253 | 0,512528 | 0,262685 |
| 29 | 16,51253 | 1,012528 | 1,025212 |
| 30 | 16,51253 | -0,18747 | 0,035146 |
| 31 | 16,78545 | -0,71455 | 0,510587 |
| 32 | 16,78545 | -0,21455 | 0,046033 |
| 33 | 16,78545 | -1,71455 | 2,939695 |
| 34 | 16,78545 | -0,71455 | 0,510587 |
| 35 | 17,06319 | 0,263188 | 0,069268 |
| 36 | 17,06319 | 0,363188 | 0,131906 |
| 37 | 17,06319 | 3,563188 | 12,69631 |
| 38 | 17,34575 | -0,65425 | 0,428038 |
| 39 | 17,34575 | -2,65425 | 7,045023 |
| 40 | 17,34575 | -0,15425 | 0,023792 |
| 41 | 17,34575 | 3,445754 | 11,87322 |
| 42 | 17,63314 | -2,36686 | 5,602013 |
| 43 | 17,63314 | -0,36686 | 0,134584 |



| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| 44 | 17,63314 | 3,233143 | 10,45321 |
| 45 | 17,92536 | -1,57464 | 2,479506 |
| 46 | 17,92536 | -1,57464 | 2,479506 |
| 47 | 18,22239 | 0,222391 | 0,049458 |
| 48 | 18,22239 | 0,222391 | 0,049458 |
| 49 | 18,22239 | 1,222391 | 1,494241 |
| 50 | 18,22239 | 0,222391 | 0,049458 |
| 51 | 18,22239 | 3,022391 | 9,13485 |
| 52 | 18,52425 | -0,47575 | 0,226337 |
| 53 | 18,52425 | 1,024251 | 1,04909 |
| 54 | 18,52425 | -0,47575 | 0,226337 |
| 55 | 18,83093 | 0,330934 | 0,109517 |
| 56 | 18,83093 | 0,830934 | 0,690452 |
| 57 | 18,83093 | 0,430934 | 0,185704 |
| 58 | 19,14244 | -1,85756 | 3,450526 |
| 59 | 19,14244 | 0,142441 | 0,020289 |
| 60 | 19,14244 | 4,242441 | 17,9983 |
| 61 | 19,45877 | -1,54123 | 2,375387 |
| 62 | 19,45877 | 0,458771 | 0,210471 |
| 63 | 19,45877 | -0,04123 | 0,0017 |
| 64 | 19,77992 | 2,779925 | 7,727982 |
| 65 | 19,77992 | 2,479925 | 6,150027 |
| 66 | 19,77992 | -2,22008 | 4,928734 |
| 67 | 19,77992 | 1,779925 | 3,168132 |
| 67 | 20,1059 | 2,105902 | 4,434824 |
| 69 | 20,1059 | -2,3941 | 5,731705 |
| 70 | 21,45805 | -0,74195 | 0,550495 |
| 71 | 22,16306 | -3,33694 | 11,13517 |
| Σ | 1217,7 | -2,1E-13 | 176,7054 |

Середня квадратична похибка одиниці ваги

$$\mu = 1,61202 \text{ кг}$$

Апроксимація квадратичним поліномом

| | | | | | |
|----|----------|--------------|----------|-------------|------------|
| 79 | b | a | c | Фрозр= | 3,131672 |
| 80 | 24,11765 | -23,11403611 | 14,46548 | a | b |
| 81 | 27,97247 | 58,56291685 | 30,56606 | m(a) | m(b),m(c) |
| 82 | 0,613908 | 1,612020253 | #Н/Д | R^2 | μ |
| 83 | 54,062 | 68 | #Н/Д | Фкритерій | n-m-1 |
| 84 | 280,972 | 176,7054322 | #Н/Д | (Y'-Ycp)^2 | [VV] |
| 85 | 0,862192 | 0,394687242 | 0,473253 | t(0,05;69)= | 1,995469 |
| 86 | t(a) | t(b) | t(c) | | |
| 87 | W | X | Y | Z | AA |

За результатами досліджень нами отримана формула

$$Y = 24,11765X^2 + (-23,114X) + 14,46548 \quad (3.2.2)$$

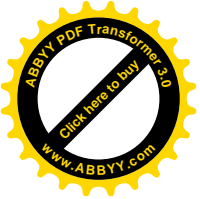
Де X-ріст(м); Y-вага

Контрольне визначення

| | | | | | |
|-----|----------|----------|----------|------------|------------|
| 106 | a | b | c | Фрозр= | 3,131672 |
| 107 | 24,11765 | -23,114 | 14,46548 | a | b |
| 108 | 27,97247 | 58,56292 | 30,56606 | m(a) | m(b),m(c) |
| 109 | 0,613908 | 1,61202 | #Н/Д | R^2 | μ |
| 110 | 54,062 | 68 | #Н/Д | Фкритерій | n-m-1 |
| 111 | 280,972 | 176,7054 | #Н/Д | (Y'-Ycp)^2 | [VV] |
| 112 | AB | AC | AD | AE | AF |

Матриця коефіцієнтів нормальних рівнянь знайдена за слідуючою комп'ютерною формулою

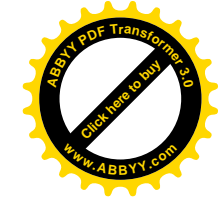
$$=МУМНОЖ(ТРАНСП(W3:Y73);W3:Y73) , (3.2.3)$$



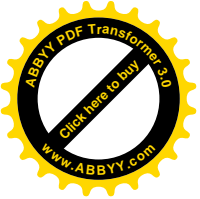
де матриця X(W3:Y73)

Таблиця 10. Матриця X(W3:Y73)

| | | |
|---|------|--------|
| 1 | 0,88 | 0,7744 |
| 1 | 0,88 | 0,7744 |
| 1 | 0,91 | 0,8281 |
| 1 | 0,94 | 0,8836 |
| 1 | 0,94 | 0,8836 |
| 1 | 0,95 | 0,9025 |
| 1 | 0,95 | 0,9025 |
| 1 | 0,95 | 0,9025 |
| 1 | 0,96 | 0,9216 |
| 1 | 0,97 | 0,9409 |
| 1 | 0,97 | 0,9409 |
| 1 | 0,98 | 0,9604 |
| 1 | 0,98 | 0,9604 |
| 1 | 0,99 | 0,9801 |
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1,02 | 1,0404 |
| 1 | 1,02 | 1,0404 |
| 1 | 1,02 | 1,0404 |
| 1 | 1,02 | 1,0404 |
| 1 | 1,03 | 1,0609 |
| 1 | 1,03 | 1,0609 |
| 1 | 1,03 | 1,0609 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,04 | 1,0816 |
| 1 | 1,05 | 1,1025 |



| | | |
|---|------|--------|
| 1 | 1,05 | 1,1025 |
| 1 | 1,05 | 1,1025 |
| 1 | 1,05 | 1,1025 |
| 1 | 1,06 | 1,1236 |
| 1 | 1,06 | 1,1236 |
| 1 | 1,06 | 1,1236 |
| 1 | 1,07 | 1,1449 |
| 1 | 1,07 | 1,1449 |
| 1 | 1,07 | 1,1449 |
| 1 | 1,07 | 1,1449 |
| 1 | 1,08 | 1,1664 |
| 1 | 1,08 | 1,1664 |
| 1 | 1,08 | 1,1664 |
| 1 | 1,09 | 1,1881 |
| 1 | 1,09 | 1,1881 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,1 | 1,21 |
| 1 | 1,11 | 1,2321 |
| 1 | 1,11 | 1,2321 |
| 1 | 1,11 | 1,2321 |
| 1 | 1,12 | 1,2544 |
| 1 | 1,12 | 1,2544 |
| 1 | 1,12 | 1,2544 |
| 1 | 1,13 | 1,2769 |
| 1 | 1,13 | 1,2769 |
| 1 | 1,13 | 1,2769 |
| 1 | 1,14 | 1,2996 |
| 1 | 1,14 | 1,2996 |
| 1 | 1,14 | 1,2996 |
| 1 | 1,15 | 1,3225 |
| 1 | 1,15 | 1,3225 |
| 1 | 1,15 | 1,3225 |



| | | |
|---|------|--------|
| 1 | 1,16 | 1,3456 |
| 1 | 1,16 | 1,3456 |
| 1 | 1,2 | 1,44 |
| 1 | 1,22 | 1,4884 |

Матриця коефіцієнтів нормальних рівнянь

$$N=X*Хтрансп \quad (3.2.4)$$

знаходиться в діапазоні **N(AI99:AK101)**,

де Хтрансп- транспонована матриця коефіцієнтів початкових рівнянь.

| | | |
|---------|----------|----------|
| 71 | 75,16 | 79,9374 |
| 75,16 | 79,9374 | 85,40255 |
| 79,9374 | 85,40255 | 91,63762 |

Обернена матриця

$$Q=N^{-1} \quad (3.2.5)$$

знайдена за формулою

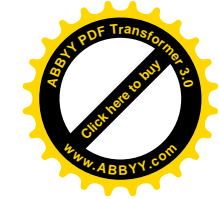
$$=МОБР(AI99:AK101) \quad , \quad (3.2.6)$$

де діапазоном **(AI99:AK101)** виділяється матриця коефіцієнтів нормальних рівнянь.

Обернена матриця

$$Q=N^{-1}$$

буде



| | | |
|----------|-----------|----------|
| 359,5323 | -688,0891 | 327,6437 |
| -688,089 | 1319,789 | -629,755 |
| 327,6437 | -629,7552 | 301,1069 |

Вектор вільних членів

$$b=Y*Хтрансп \quad (3.2.7)$$

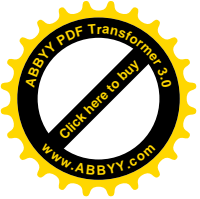
розраховується за формулою

$$=МУМНОЖ(ТРАНСП(W3:Y73);Q3:Q73) \quad . \quad (3.2.8)$$

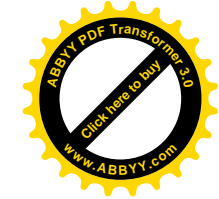
Де вектор Y(Q3:Q73)

Таблиця 11. Вектор Y(Q3:Q73)

| |
|------|
| 12 |
| 12 |
| 13,5 |
| 14,5 |
| 13,5 |
| 14,5 |
| 15,2 |
| 13,7 |
| 13,4 |
| 13,5 |
| 15,5 |
| 15,2 |
| 16,4 |
| 14 |
| 15,8 |
| 16 |
| 18 |
| 14,3 |
| 15,8 |



| |
|------|
| 17 |
| 18 |
| 17,5 |
| 17,5 |
| 18 |
| 19,5 |
| 17,8 |
| 15,6 |
| 16 |
| 15,5 |
| 16,7 |
| 17,5 |
| 17 |
| 18,5 |
| 17,5 |
| 16,8 |
| 16,7 |
| 13,5 |
| 18 |
| 20 |
| 17,5 |
| 13,9 |
| 20 |
| 18 |
| 14,4 |
| 19,5 |
| 19,5 |
| 18 |
| 18 |
| 17 |
| 18 |
| 15,2 |
| 19 |
| 17,5 |
| 19 |
| 18,5 |



| |
|------|
| 18 |
| 18,4 |
| 21 |
| 19 |
| 14,9 |
| 21 |
| 19 |
| 19,5 |
| 17 |
| 17,3 |
| 22 |
| 18 |
| 18 |
| 22,5 |
| 22,2 |
| 25,5 |

Таким чином, вектор вільних членів b , суть

| |
|----------|
| 1217,7 |
| 1299,258 |
| 1392,419 |

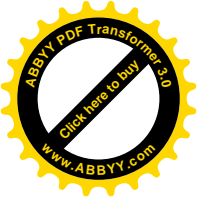
В подальшому знаходимо вектор шуканих коефіцієнтів

=МУМНОЖ(АІ104:АК106;АJ110:АJ112), (3.2.9)

де обернена матриця Q знаходиться в діапазоні (АІ104:АК106), а діапазоном (АJ110:АJ112) виділяється вектор b .

Вектор шуканих коефіцієнтів розміщується в діапазоні (АJ116:АJ118)

| | |
|----|----------|
| | a=b*Q |
| c= | 14,46548 |



| | |
|----|-----------|
| b= | -23,11404 |
| a= | 24,11765 |

Контроль обчислень знаходять за формулою

$$\dots\dots\dots \mathbf{b}=\mathbf{a}*\mathbf{N} \dots\dots\dots \quad (3.2.10)$$

$$=\text{МУМНОЖ}(\text{AI99:AK101};\text{AJ116:AJ118}). \quad (3.2.11)$$

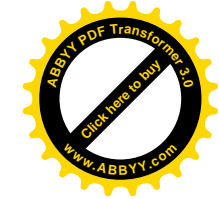
Таким чином, отримали контрольне значення вектора вільних членів **b**.

| |
|----------|
| 1217,7 |
| 1299,258 |
| 1392,419 |

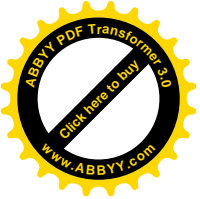
Приведемо порівняльну таблицю розрахунку зрівноваженої функції при апроксимації поліномом першого і другого степеня.

Таблиця 12. Порівняльна таблиця

| № | Y'зрівн1ст | Y'зрівн2ст | V=Y'1-Y'2 |
|----|------------|------------|-----------|
| 1 | 12,27029 | 12,80183 | -0,53154 |
| 2 | 12,27029 | 12,80183 | -0,53154 |
| 3 | 13,09011 | 13,40353 | -0,31342 |
| 4 | 13,90993 | 14,04864 | -0,13871 |
| 5 | 13,90993 | 14,04864 | -0,13871 |
| 6 | 14,1832 | 14,27332 | -0,09012 |
| 7 | 14,1832 | 14,27332 | -0,09012 |
| 8 | 14,1832 | 14,27332 | -0,09012 |
| 9 | 14,45647 | 14,50283 | -0,04636 |
| 10 | 14,72974 | 14,73716 | -0,00742 |
| 11 | 14,72974 | 14,73716 | -0,00742 |

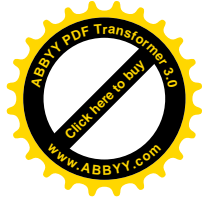


| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| 12 | 15,00301 | 14,97631 | 0,026704 |
| 13 | 15,00301 | 14,97631 | 0,026704 |
| 14 | 15,27629 | 15,22029 | 0,055999 |
| 15 | 15,54956 | 15,46909 | 0,08047 |
| 16 | 16,0961 | 15,98116 | 0,114943 |
| 17 | 16,0961 | 15,98116 | 0,114943 |
| 18 | 16,0961 | 15,98116 | 0,114943 |
| 19 | 16,0961 | 15,98116 | 0,114943 |
| 20 | 16,36938 | 16,24443 | 0,124943 |
| 21 | 16,36938 | 16,24443 | 0,124943 |
| 22 | 16,36938 | 16,24443 | 0,124943 |
| 23 | 16,64265 | 16,51253 | 0,130121 |
| 24 | 16,64265 | 16,51253 | 0,130121 |
| 25 | 16,64265 | 16,51253 | 0,130121 |
| 26 | 16,64265 | 16,51253 | 0,130121 |
| 27 | 16,64265 | 16,51253 | 0,130121 |
| 28 | 16,64265 | 16,51253 | 0,130121 |
| 29 | 16,64265 | 16,51253 | 0,130121 |
| 30 | 16,64265 | 16,51253 | 0,130121 |
| 31 | 16,91592 | 16,78545 | 0,130475 |
| 32 | 16,91592 | 16,78545 | 0,130475 |
| 33 | 16,91592 | 16,78545 | 0,130475 |
| 34 | 16,91592 | 16,78545 | 0,130475 |
| 35 | 17,18919 | 17,06319 | 0,126005 |
| 36 | 17,18919 | 17,06319 | 0,126005 |
| 37 | 17,18919 | 17,06319 | 0,126005 |
| 38 | 17,46247 | 17,34575 | 0,116712 |
| 39 | 17,46247 | 17,34575 | 0,116712 |
| 40 | 17,46247 | 17,34575 | 0,116712 |
| 41 | 17,46247 | 17,34575 | 0,116712 |
| 42 | 17,73574 | 17,63314 | 0,102595 |
| 43 | 17,73574 | 17,63314 | 0,102595 |
| 44 | 17,73574 | 17,63314 | 0,102595 |
| 45 | 18,00901 | 17,92536 | 0,083655 |
| 46 | 18,00901 | 17,92536 | 0,083655 |
| 47 | 18,28228 | 18,22239 | 0,059891 |



| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| 48 | 18,28228 | 18,22239 | 0,059891 |
| 49 | 18,28228 | 18,22239 | 0,059891 |
| 50 | 18,28228 | 18,22239 | 0,059891 |
| 51 | 18,28228 | 18,22239 | 0,059891 |
| 52 | 18,55555 | 18,52425 | 0,031304 |
| 53 | 18,55555 | 18,52425 | 0,031304 |
| 54 | 18,55555 | 18,52425 | 0,031304 |
| 55 | 18,82883 | 18,83093 | -0,00211 |
| 56 | 18,82883 | 18,83093 | -0,00211 |
| 57 | 18,82883 | 18,83093 | -0,00211 |
| 58 | 19,1021 | 19,14244 | -0,04034 |
| 59 | 19,1021 | 19,14244 | -0,04034 |
| 60 | 19,1021 | 19,14244 | -0,04034 |
| 61 | 19,37537 | 19,45877 | -0,0834 |
| 62 | 19,37537 | 19,45877 | -0,0834 |
| 63 | 19,37537 | 19,45877 | -0,0834 |
| 64 | 19,64864 | 19,77992 | -0,13128 |
| 65 | 19,64864 | 19,77992 | -0,13128 |
| 66 | 19,64864 | 19,77992 | -0,13128 |
| 67 | 19,64864 | 19,77992 | -0,13128 |
| 68 | 19,92192 | 20,1059 | -0,18399 |
| 69 | 19,92192 | 20,1059 | -0,18399 |
| 70 | 21,01501 | 21,45805 | -0,44304 |
| 71 | 21,56155 | 22,16306 | -0,60151 |

Як видно із порівняльної таблиці, розрахункові значення функції Y' визначені за розробленими нами формулами поліномів першого і другого степеня, відрізняються на дуже малі величини, якими практично можна нехтувати.



ВИСНОВКИ

1. Так як $F_{табл} < F_{розр}$ $3,130 < 54.062$, то з надійністю $P=0.95$ можна вважати, що побудована нами математична модель відповідає експериментальним даним і її можна використовувати для практичних розрахунків.

2. Статистично незначимим являється коефіцієнт c $t(c)=0,473$, що більше $1,995$.

3. Статистично незначимими є коефіцієнти a і b .

4. Середня квадратична похибка одиниці ваги $\mu=1,612$ кг.

5. Середні квадратичні похибки визначених коефіцієнтів: $m(a)=27.972$; $m(b)=58.563$; $m(c)=30.566$.

5. За результатами досліджень нами отримана формула

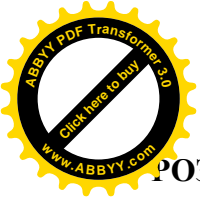
$$Y = 24.11765X^2 - 23.114X + 14.46548 \quad (3.2.2)$$

де Y - вага (кг); X - ріст (метри).

7. Коефіцієнт кореляції $r = R=0.784$, що говорить про високий зв'язок між X і Y .

8. Із підвищенням степеня апроксимації не здійснюється покращення характеристик моделі.

9. Розрахункові значення функції Y' , визначені за розробленими нами формулами поліномів першого і другого степеня, відрізняються на дуже малі величини, якими практично можна нехтувати.



РОЗДІЛ 4. Побудова і дослідження імітаційної моделі

4.1. Генерування істинних похибок для дослідження математичної моделі методом статистичних випробувань Монте Карло

При проведенні досліджень прийmemo середню квадратичну похибку визначення росту дітей в 0,01 метри, тобто 1 сантиметр.

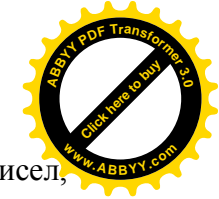
Тому, логічно генерувати випадкові похибки з точністю, яка б дорівнювала 0,01 м.

Користуючись таблицями псевдовипадкових чисел ряд років, ми прийшли до висновку, що найкращою з них є таблиця, розроблена молодим вченим нашого університету Валецьким Олександром Олеговичем в його магістерській дипломній роботі, виконаній під науковим керівництвом доктора фізико-математичних наук, професора Джуня Йосипа Володимировича [4,5,6].

Але, приймаючи до уваги, що нам буде потрібно для кожної математичної моделі по 71 псевдовипадковому числі, в даній роботі будемо генерувати псевдовипадкові числа за формулою

$$\xi = \text{СЛЧИС}() * 0,01 * N, \quad (4.1)$$

математичної моделі по списку в журналі групи).



Приведемо методику розрахунку випадкових чисел, які прийmemo в подальшому як істинні похибки для побудови спотвореної моделі.

1. Отримавши ряд випадкових (а точніше псевдовипадкових) чисел ξ_i , розраховують середнє арифметичне генерованих псевдовипадкових чисел ξ_{ip} .

$$\xi_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i}{n}, \quad (4.2)$$

де n – сума випадкових чисел.

2. Розраховуються попередні значення істинних похибок Δ'_i за формулою

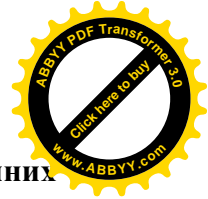
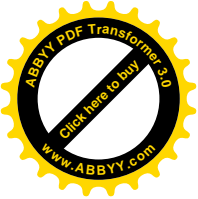
$$\Delta'_i = \xi_i - \xi_{cp}, \quad (4.3)$$

3. Знаходять середню квадратичну похибку попередніх істинних похибок за формулою Гаусса

$$m_{\Delta'} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \Delta'^2_i}{n}}, \quad (4.4)$$

4. Вичисляють коефіцієнт пропорційності K для визначення істинних похибок необхідної точності

$$K = \frac{c}{m_{\Delta'}}, \quad (4.5)$$



де C – необхідна нормована константа.

Так, наприклад, при $m_{\Delta'} = 0,28$ і необхідності побудови математичної моделі з точністю $c=0,1$, будемо мати

$$K_{0,1} = \frac{0,1}{0,28} = 0,357'$$

а при $C=0,05$, отримаємо $K_{0,05} = 0,05/0,28 = 0,178$.

5. Істинні похибки розраховуються за формулою

$$\Delta_i = \Delta'_i \cdot K, \quad (4.6)$$

6. Заключним контролем служить розрахунок середньої квадратичної похибки m_{Δ} генерованих істинних похибок Δ

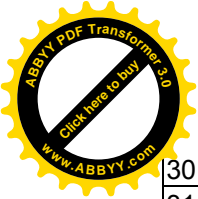
$$m_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \Delta^2}{n}}, \quad (4.7)$$

і порівняння

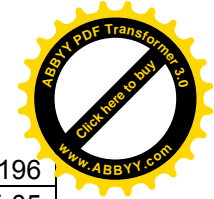
$$m_{\Delta} = C \quad (4.8)$$

Таблиця 13. Генерування і нормування істинних похибок

| № | ξ_i | $\xi_{\text{ср}}$ | $\Delta' = \xi - \xi_{\text{ср}}$ | Δ'^2 | $\Delta = k \cdot \Delta'$ | Δ^2 |
|----|----------|-------------------|-----------------------------------|-------------|----------------------------|------------|
| 1 | 0,038562 | 0,481091 | -0,442529 | 0,195832 | -0,01471 | 0,000216 |
| 2 | 0,849357 | 0,481091 | 0,368266 | 0,13562 | 0,012244 | 0,00015 |
| 3 | 0,263886 | 0,481091 | -0,217205 | 0,047178 | -0,00722 | 5,22E-05 |
| 4 | 0,483503 | 0,481091 | 0,002412 | 5,82E-06 | 8,02E-05 | 6,43E-09 |
| 5 | 0,359335 | 0,481091 | -0,121756 | 0,014825 | -0,00405 | 1,64E-05 |
| 6 | 0,726126 | 0,481091 | 0,245035 | 0,060042 | 0,008147 | 6,64E-05 |
| 7 | 0,032256 | 0,481091 | -0,448835 | 0,201453 | -0,01492 | 0,000223 |
| 8 | 0,003827 | 0,481091 | -0,477264 | 0,227781 | -0,01587 | 0,000252 |
| 9 | 0,56189 | 0,481091 | 0,080799 | 0,006528 | 0,002686 | 7,22E-06 |
| 10 | 0,681907 | 0,481091 | 0,200816 | 0,040327 | 0,006677 | 4,46E-05 |
| 11 | 0,250192 | 0,481091 | -0,230899 | 0,053314 | -0,00768 | 5,89E-05 |
| 12 | 0,936519 | 0,481091 | 0,455428 | 0,207415 | 0,015142 | 0,000229 |
| 13 | 0,781056 | 0,481091 | 0,299965 | 0,089979 | 0,009973 | 9,95E-05 |
| 14 | 0,021764 | 0,481091 | -0,459327 | 0,210981 | -0,01527 | 0,000233 |
| 15 | 0,780316 | 0,481091 | 0,299225 | 0,089536 | 0,009949 | 9,9E-05 |
| 16 | 0,581425 | 0,481091 | 0,100334 | 0,010067 | 0,003336 | 1,11E-05 |
| 17 | 0,812145 | 0,481091 | 0,331054 | 0,109597 | 0,011007 | 0,000121 |
| 18 | 0,134758 | 0,481091 | -0,346333 | 0,119947 | -0,01152 | 0,000133 |
| 19 | 0,020548 | 0,481091 | -0,460543 | 0,2121 | -0,01531 | 0,000234 |
| 20 | 0,028344 | 0,481091 | -0,452747 | 0,20498 | -0,01505 | 0,000227 |
| 21 | 0,836917 | 0,481091 | 0,355826 | 0,126612 | 0,011831 | 0,00014 |
| 22 | 0,310668 | 0,481091 | -0,170423 | 0,029044 | -0,00567 | 3,21E-05 |
| 23 | 0,374593 | 0,481091 | -0,106498 | 0,011342 | -0,00354 | 1,25E-05 |
| 24 | 0,851329 | 0,481091 | 0,370238 | 0,137076 | 0,01231 | 0,000152 |
| 25 | 0,853799 | 0,481091 | 0,372708 | 0,138911 | 0,012392 | 0,000154 |
| 26 | 0,531818 | 0,481091 | 0,050727 | 0,002573 | 0,001687 | 2,84E-06 |
| 27 | 0,630118 | 0,481091 | 0,149027 | 0,022209 | 0,004955 | 2,46E-05 |
| 28 | 0,064536 | 0,481091 | -0,416555 | 0,173518 | -0,01385 | 0,000192 |
| 29 | 0,871187 | 0,481091 | 0,390096 | 0,152175 | 0,01297 | 0,000168 |



| | | | | | | |
|----|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 30 | 0,973028 | 0,481091 | 0,491937 | 0,242002 | 0,016356 | 0,000268 |
| 31 | 0,205435 | 0,481091 | -0,275656 | 0,075986 | -0,00917 | 8,4E-05 |
| 32 | 0,505791 | 0,481091 | 0,0247 | 0,00061 | 0,000821 | 6,74E-07 |
| 33 | 0,464827 | 0,481091 | -0,016264 | 0,000265 | -0,00054 | 2,92E-07 |
| 34 | 0,616879 | 0,481091 | 0,135788 | 0,018438 | 0,004515 | 2,04E-05 |
| 35 | 0,897524 | 0,481091 | 0,416433 | 0,173416 | 0,013846 | 0,000192 |
| 36 | 0,24592 | 0,481091 | -0,235171 | 0,055305 | -0,00782 | 6,11E-05 |
| 37 | 0,218658 | 0,481091 | -0,262433 | 0,068871 | -0,00873 | 7,61E-05 |
| 38 | 0,721058 | 0,481091 | 0,239967 | 0,057584 | 0,007979 | 6,37E-05 |
| 39 | 0,148114 | 0,481091 | -0,332977 | 0,110874 | -0,01107 | 0,000123 |
| 40 | 0,725803 | 0,481091 | 0,244712 | 0,059884 | 0,008136 | 6,62E-05 |
| 41 | 0,143417 | 0,481091 | -0,337674 | 0,114024 | -0,01123 | 0,000126 |
| 42 | 0,673819 | 0,481091 | 0,192728 | 0,037144 | 0,006408 | 4,11E-05 |
| 43 | 0,110485 | 0,481091 | -0,370606 | 0,137349 | -0,01232 | 0,000152 |
| 44 | 0,183642 | 0,481091 | -0,297449 | 0,088476 | -0,00989 | 9,78E-05 |
| 45 | 0,808448 | 0,481091 | 0,327357 | 0,107163 | 0,010884 | 0,000118 |
| 46 | 0,789475 | 0,481091 | 0,308384 | 0,095101 | 0,010253 | 0,000105 |
| 47 | 0,977402 | 0,481091 | 0,496311 | 0,246325 | 0,016502 | 0,000272 |
| 48 | 0,574693 | 0,481091 | 0,093602 | 0,008761 | 0,003112 | 9,69E-06 |
| 49 | 0,225464 | 0,481091 | -0,255627 | 0,065345 | -0,0085 | 7,22E-05 |
| 50 | 0,534352 | 0,481091 | 0,053261 | 0,002837 | 0,001771 | 3,14E-06 |
| 51 | 0,446448 | 0,481091 | -0,034643 | 0,0012 | -0,00115 | 1,33E-06 |
| 52 | 0,244978 | 0,481091 | -0,236113 | 0,055749 | -0,00785 | 6,16E-05 |
| 53 | 0,280852 | 0,481091 | -0,200239 | 0,040096 | -0,00666 | 4,43E-05 |
| 54 | 0,184978 | 0,481091 | -0,296113 | 0,087683 | -0,00985 | 9,69E-05 |
| 55 | 0,014837 | 0,481091 | -0,466254 | 0,217393 | -0,0155 | 0,00024 |
| 56 | 0,763591 | 0,481091 | 0,2825 | 0,079806 | 0,009393 | 8,82E-05 |
| 57 | 0,93202 | 0,481091 | 0,450929 | 0,203337 | 0,014993 | 0,000225 |
| 58 | 0,736039 | 0,481091 | 0,254948 | 0,064999 | 0,008477 | 7,19E-05 |
| 59 | 0,168115 | 0,481091 | -0,312976 | 0,097954 | -0,01041 | 0,000108 |
| 60 | 0,095075 | 0,481091 | -0,386016 | 0,149008 | -0,01283 | 0,000165 |
| 61 | 0,635436 | 0,481091 | 0,154345 | 0,023822 | 0,005132 | 2,63E-05 |
| 62 | 0,530377 | 0,481091 | 0,049286 | 0,002429 | 0,001639 | 2,69E-06 |
| 63 | 0,669815 | 0,481091 | 0,188724 | 0,035617 | 0,006275 | 3,94E-05 |
| 64 | 0,349524 | 0,481091 | -0,131567 | 0,01731 | -0,00437 | 1,91E-05 |
| 65 | 0,37446 | 0,481091 | -0,106631 | 0,01137 | -0,00355 | 1,26E-05 |



| | | | | | | |
|----|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 66 | 0,902444 | 0,481091 | 0,421353 | 0,177538 | 0,014009 | 0,000196 |
| 67 | 0,630162 | 0,481091 | 0,149071 | 0,022222 | 0,004956 | 2,46E-05 |
| 67 | 0,711712 | 0,481091 | 0,230621 | 0,053186 | 0,007668 | 5,88E-05 |
| 69 | 0,345187 | 0,481091 | -0,135904 | 0,01847 | -0,00452 | 2,04E-05 |
| 70 | 0,70754 | 0,481091 | 0,226449 | 0,051279 | 0,007529 | 5,67E-05 |
| 71 | 0,016953 | 0,481091 | -0,464138 | 0,215424 | -0,01543 | 0,000238 |
| Σ | 34,15746 | 34,15746 | -8,33E-15 | 6,42262 | -2,8E-16 | 0,0071 |

Середня квадратична похибка попередніх істинних похибок

$$m\Delta_i = \sqrt{(|\Delta_i|^2/n)}$$

0,29676

$$m\Delta' = (AK74/W74)^{0,5} = 0,29676$$

Коефіцієнт пропорційності

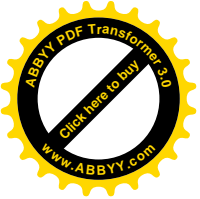
$$K = \frac{0,01}{0,29676} = 0,03370.$$

$$k = 0,1/AL76 = 0,033697$$

Середня квадратична похибка при генеруванні випадкових чисел з точністю $c = 0,01$

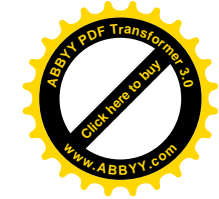
$$m_{\Delta_i} = \sqrt{\frac{0,7100}{71}} = 0,01.$$

$$m\Delta = (AM74/W74)^{0,5} = 0,01$$

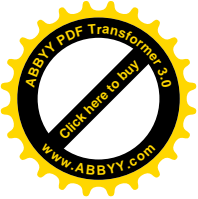


Таблиця 14. Побудова імітаційної моделі

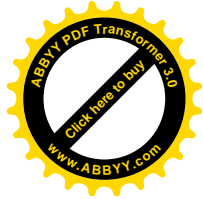
| № | Y'зрівн1ст | $\Delta=k*\Delta'$ | $Y=X+\Delta$ |
|----|------------|--------------------|--------------|
| 1 | 12,27029 | 0,005098 | 12,27539 |
| 2 | 12,27029 | 0,005776 | 12,27607 |
| 3 | 13,09011 | 0,004256 | 13,09436 |
| 4 | 13,90993 | 0,011741 | 13,92167 |
| 5 | 13,90993 | -0,00485 | 13,90508 |
| 6 | 14,1832 | 0,012836 | 14,19603 |
| 7 | 14,1832 | 0,002072 | 14,18527 |
| 8 | 14,1832 | -5,5E-05 | 14,18314 |
| 9 | 14,45647 | 0,01056 | 14,46703 |
| 10 | 14,72974 | 0,008265 | 14,73801 |
| 11 | 14,72974 | 0,013805 | 14,74355 |
| 12 | 15,00301 | -0,00973 | 14,99328 |
| 13 | 15,00301 | -0,01367 | 14,98935 |
| 14 | 15,27629 | -0,00025 | 15,27604 |
| 15 | 15,54956 | 0,012989 | 15,56255 |
| 16 | 16,0961 | -0,0074 | 16,0887 |
| 17 | 16,0961 | -0,00755 | 16,08855 |
| 18 | 16,0961 | -0,00206 | 16,09404 |
| 19 | 16,0961 | 0,010503 | 16,10661 |
| 20 | 16,36938 | -0,00766 | 16,36172 |
| 21 | 16,36938 | -0,01568 | 16,35369 |
| 22 | 16,36938 | 0,001213 | 16,37059 |
| 23 | 16,64265 | -0,01376 | 16,62889 |
| 24 | 16,64265 | -0,01044 | 16,63221 |
| 25 | 16,64265 | -0,01195 | 16,6307 |
| 26 | 16,64265 | 0,005687 | 16,64834 |
| 27 | 16,64265 | -0,00911 | 16,63354 |
| 28 | 16,64265 | 0,00291 | 16,64556 |
| 29 | 16,64265 | -0,01522 | 16,62743 |
| 30 | 16,64265 | 0,005144 | 16,64779 |
| 31 | 16,91592 | 0,014742 | 16,93066 |



| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| 32 | 16,91592 | 0,009521 | 16,92544 |
| 33 | 16,91592 | 0,00741 | 16,92333 |
| 34 | 16,91592 | 0,016593 | 16,93251 |
| 35 | 17,18919 | 0,006683 | 17,19588 |
| 36 | 17,18919 | -0,0049 | 17,1843 |
| 37 | 17,18919 | -0,00067 | 17,18852 |
| 38 | 17,46247 | 0,015463 | 17,47793 |
| 39 | 17,46247 | 0,001029 | 17,46349 |
| 40 | 17,46247 | 0,003578 | 17,46604 |
| 41 | 17,46247 | 0,018086 | 17,48055 |
| 42 | 17,73574 | -0,00987 | 17,72587 |
| 43 | 17,73574 | 0,018252 | 17,75399 |
| 44 | 17,73574 | -0,00825 | 17,72749 |
| 45 | 18,00901 | 0,00174 | 18,01075 |
| 46 | 18,00901 | -0,00996 | 17,99905 |
| 47 | 18,28228 | -0,01172 | 18,27056 |
| 48 | 18,28228 | 0,005911 | 18,28819 |
| 49 | 18,28228 | 0,004734 | 18,28702 |
| 50 | 18,28228 | -0,01163 | 18,27065 |
| 51 | 18,28228 | -0,00822 | 18,27407 |
| 52 | 18,55555 | 0,008399 | 18,56395 |
| 53 | 18,55555 | -0,01598 | 18,53958 |
| 54 | 18,55555 | -0,00406 | 18,55149 |
| 55 | 18,82883 | -0,00649 | 18,82234 |
| 56 | 18,82883 | 0,010735 | 18,83956 |
| 57 | 18,82883 | -0,01114 | 18,81768 |
| 58 | 19,1021 | -0,01574 | 19,08636 |
| 59 | 19,1021 | -0,00857 | 19,09353 |
| 60 | 19,1021 | 0,002036 | 19,10414 |
| 61 | 19,37537 | 0,01531 | 19,39068 |
| 62 | 19,37537 | -0,00941 | 19,36596 |
| 63 | 19,37537 | 0,005601 | 19,38097 |
| 64 | 19,64864 | 0,007663 | 19,65631 |
| 65 | 19,64864 | 0,008398 | 19,65704 |
| 66 | 19,64864 | 0,00673 | 19,65537 |
| 67 | 19,64864 | 0,011189 | 19,65983 |



| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| 67 | 19,92192 | -0,00931 | 19,91261 |
| 69 | 19,92192 | -0,01593 | 19,90599 |
| 70 | 21,01501 | -0,01605 | 20,99895 |
| 71 | 21,56155 | -0,00537 | 21,55618 |
| Σ | 1217,7 | -1,6E-17 | 1217,7 |



| | |
|-----------------------|----------|
| Середні квадр.похибки | |
| m(b)= | 0,208806 |
| m(a)= | 0,045886 |

Зрівноваження імітаційної моделі

Матриця коефіцієнтів нормальних рівнянь $N=X \cdot X_{tr}$.

| | |
|----------|----------|
| 71 | 313,5814 |
| 313,5814 | 1470,226 |

Обернена матриця $Q=N^{-1}$

| | |
|----------|----------|
| 0,242903 | -0,05181 |
| -0,05181 | 0,01173 |

Вектор вільних членів

| |
|--------------------|
| $b=Y \cdot X_{tr}$ |
| 1217,7 |
| 5528,754 |

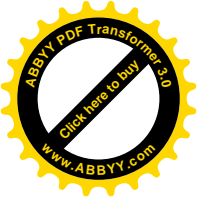
Шукані коефіцієнти

$a=b \cdot Q$

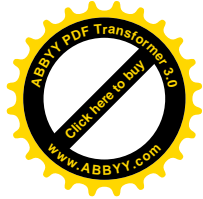
| | |
|----|----------|
| b= | 9,347778 |
| a= | 0,045886 |

Таблиця 15. Результати зрівноваження імітаційної моделі

| Вік(років)X | Y"зрівн | V=Y"-Y | V^2 |
|-------------|----------|----------|----------|
| 2 | 12,87673 | 0,613619 | 0,376528 |
| 2,0833 | 13,02405 | 0,752351 | 0,566033 |
| 2,4166 | 13,61351 | 0,507796 | 0,257857 |
| 2,5 | 13,76101 | -0,1345 | 0,018091 |
| 2,5 | 13,76101 | -0,13164 | 0,017329 |
| 2,6666 | 14,05565 | -0,11974 | 0,014337 |
| 2,75 | 14,20315 | 0,011596 | 0,000134 |
| 2,75 | 14,20315 | 0,007785 | 6,06E-05 |
| 2,8333 | 14,35047 | -0,11912 | 0,01419 |
| 2,8333 | 14,35047 | -0,364 | 0,132496 |
| 2,9166 | 14,49779 | -0,21705 | 0,047109 |
| 3,0833 | 14,79261 | -0,21196 | 0,044926 |
| 3,25 | 15,08743 | 0,092001 | 0,008464 |
| 3,3333 | 15,23475 | -0,05373 | 0,002887 |
| 3,3333 | 15,23475 | -0,3261 | 0,106341 |
| 3,4166 | 15,38207 | -0,72407 | 0,524273 |
| 3,5 | 15,52957 | -0,56945 | 0,324268 |
| 3,5833 | 15,67689 | -0,41569 | 0,172801 |
| 3,5833 | 15,67689 | -0,42953 | 0,184495 |
| 3,6666 | 15,82421 | -0,5609 | 0,314606 |
| 3,75 | 15,97171 | -0,38857 | 0,150985 |
| 3,75 | 15,97171 | -0,40462 | 0,16372 |
| 3,9166 | 16,26635 | -0,36312 | 0,131855 |
| 4 | 16,41385 | -0,22637 | 0,051244 |
| 4 | 16,41385 | -0,24063 | 0,057901 |
| 4 | 16,41385 | -0,21298 | 0,045361 |
| 4 | 16,41385 | -0,2219 | 0,049239 |



| | | | |
|---------|----------|----------|----------|
| 4,0833 | 16,56117 | -0,09067 | 0,00822 |
| 4,1666 | 16,70849 | 0,082862 | 0,006866 |
| 4,25 | 16,85599 | 0,1995 | 0,0398 |
| 4,3333 | 17,00331 | 0,093235 | 0,008693 |
| 4,4166 | 17,15063 | 0,229269 | 0,052564 |
| 4,5 | 17,29813 | 0,380582 | 0,144843 |
| 4,5 | 17,29813 | 0,385329 | 0,148479 |
| 4,5 | 17,29813 | 0,109901 | 0,012078 |
| 4,5833 | 17,44545 | 0,257071 | 0,066085 |
| 4,6666 | 17,59277 | 0,416532 | 0,173499 |
| 5 | 18,18241 | 0,736861 | 0,542964 |
| 5 | 18,18241 | 0,720213 | 0,518706 |
| 5 | 18,18241 | 0,731645 | 0,535304 |
| 5 | 18,18241 | 0,705419 | 0,497616 |
| 5 | 18,18241 | 0,457719 | 0,209506 |
| 5,0833 | 18,32973 | 0,583215 | 0,340139 |
| 5,0833 | 18,32973 | 0,60084 | 0,361009 |
| 5,08333 | 18,32979 | 0,3157 | 0,099666 |
| 5,1666 | 18,47705 | 0,45302 | 0,205227 |
| 5,1666 | 18,47705 | 0,205033 | 0,042039 |
| 5,1666 | 18,47705 | 0,178682 | 0,031927 |
| 5,25 | 18,62455 | 0,336783 | 0,113423 |
| 5,25 | 18,62455 | 0,35308 | 0,124666 |
| 5,25 | 18,62455 | 0,340469 | 0,115919 |
| 5,25 | 18,62455 | 0,072632 | 0,005275 |
| 5,25 | 18,62455 | 0,08026 | 0,006442 |
| 5,3333 | 18,77187 | 0,223659 | 0,050023 |
| 5,3333 | 18,77187 | -0,05165 | 0,002667 |
| 5,3333 | 18,77187 | -0,071 | 0,005041 |
| 5,4166 | 18,91919 | 0,101877 | 0,010379 |
| 5,4166 | 18,91919 | -0,18274 | 0,033395 |
| 5,4166 | 18,91919 | -0,19912 | 0,03965 |
| 5,5 | 19,06669 | -0,03578 | 0,001281 |
| 5,5 | 19,06669 | -0,30968 | 0,095899 |
| 5,5 | 19,06669 | -0,315 | 0,099224 |
| 5,5833 | 19,21401 | -0,15297 | 0,023401 |



| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| 5,6666 | 19,36133 | -0,29549 | 0,087317 |
| 5,6666 | 19,36133 | -0,28364 | 0,080453 |
| 5,6666 | 19,36133 | -0,28286 | 0,080012 |
| 5,9166 | 19,80347 | 0,140896 | 0,019852 |
| 5,9166 | 19,80347 | -0,12228 | 0,014952 |
| 6 | 19,95097 | 0,03242 | 0,001051 |
| 6 | 19,95097 | -1,06168 | 1,127172 |
| 6 | 19,95097 | -1,61963 | 2,62319 |
| 313,5814 | 1217,7 | 2,36E-13 | 12,58345 |

Середня квадратична похибка одиниці ваги

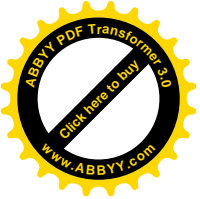
$$\mu = 0,427047 \text{ кг.}$$

Визначення функцією "ЛИНЕЙН"

| | | | | |
|----|----------|----------|-------------|----------|
| 77 | a | b | Fтабл= | 3,129644 |
| 78 | 1,766465 | 9,348863 | a | b |
| 79 | 0,046324 | 0,210799 | m(a) | m(b) |
| 80 | 0,954698 | 0,427712 | R^2 | μ |
| 81 | 1454,121 | 69 | Fкритерій | n-m-1 |
| 82 | 266,0134 | 12,6227 | (Y'-Ycp)^2 | [VV] |
| 83 | 38,13293 | 44,34974 | t(0,05;69)= | 1,994945 |
| 84 | t(a) | t(b) | | |
| 85 | AO | AP | AQ | AR |

Таким чином, ми отримали формулу

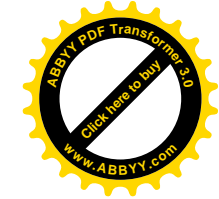
$$Y = 1.766465X + 9.348863 \quad (4.9)$$



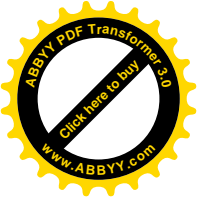
4.2. Оцінка точності параметрів, отриманих із рішення системи нормальних рівнянь

Таблиця 16. Вихідна матриця X(AW3:AX73)

| X0 | Вік(років)X |
|----|-------------|
| 1 | 2 |
| 1 | 2,0833 |
| 1 | 2,4166 |
| 1 | 2,5 |
| 1 | 2,5 |
| 1 | 2,6666 |
| 1 | 2,75 |
| 1 | 2,75 |
| 1 | 2,8333 |
| 1 | 2,8333 |
| 1 | 2,9166 |
| 1 | 3,0833 |
| 1 | 3,25 |
| 1 | 3,3333 |
| 1 | 3,3333 |
| 1 | 3,4166 |
| 1 | 3,5 |
| 1 | 3,5833 |
| 1 | 3,5833 |
| 1 | 3,6666 |
| 1 | 3,75 |
| 1 | 3,75 |
| 1 | 3,9166 |
| 1 | 4 |
| 1 | 4 |
| 1 | 4 |
| 1 | 4 |



| | |
|---|---------|
| 1 | 4,0833 |
| 1 | 4,1666 |
| 1 | 4,25 |
| 1 | 4,3333 |
| 1 | 4,4166 |
| 1 | 4,5 |
| 1 | 4,5 |
| 1 | 4,5 |
| 1 | 4,5833 |
| 1 | 4,6666 |
| 1 | 5 |
| 1 | 5 |
| 1 | 5 |
| 1 | 5 |
| 1 | 5 |
| 1 | 5 |
| 1 | 5,0833 |
| 1 | 5,0833 |
| 1 | 5,08333 |
| 1 | 5,1666 |
| 1 | 5,1666 |
| 1 | 5,1666 |
| 1 | 5,1666 |
| 1 | 5,25 |
| 1 | 5,25 |
| 1 | 5,25 |
| 1 | 5,25 |
| 1 | 5,25 |
| 1 | 5,25 |
| 1 | 5,3333 |
| 1 | 5,3333 |
| 1 | 5,3333 |
| 1 | 5,3333 |
| 1 | 5,4166 |
| 1 | 5,4166 |
| 1 | 5,4166 |
| 1 | 5,4166 |
| 1 | 5,5 |
| 1 | 5,5 |
| 1 | 5,5 |
| 1 | 5,5833 |



| | |
|----|----------|
| 1 | 5,6666 |
| 1 | 5,6666 |
| 1 | 5,6666 |
| 1 | 5,9166 |
| 1 | 5,9166 |
| 1 | 6 |
| 1 | 6 |
| 1 | 6 |
| 71 | 313,5814 |

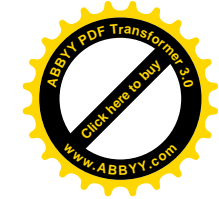
Допоміжна матриця $Q'=Q*X$ розраховується за формулою

$$=МУМНОЖ(AW3:AX73;AV86:AW87), \quad (4.2.1)$$

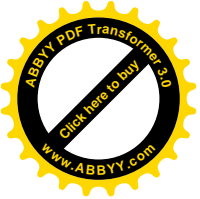
де обернена матриця Q лежить в діапазоні (AV86: AW87)

Таблиця 17. Допоміжна матриця Q' див.форм.(1.1.11)

| Допоміжна матриця | |
|-------------------|----------|
| $Q'=Q*X$ | |
| 0,139286 | -0,02835 |
| 0,134971 | -0,02737 |
| 0,117703 | -0,02346 |
| 0,113382 | -0,02248 |
| 0,113382 | -0,02248 |
| 0,104751 | -0,02053 |
| 0,10043 | -0,01955 |
| 0,10043 | -0,01955 |
| 0,096115 | -0,01857 |
| 0,096115 | -0,01857 |
| 0,091799 | -0,0176 |
| 0,083162 | -0,01564 |
| 0,074526 | -0,01368 |



| | |
|----------|----------|
| 0,07021 | -0,01271 |
| 0,07021 | -0,01271 |
| 0,065895 | -0,01173 |
| 0,061574 | -0,01075 |
| 0,057258 | -0,00978 |
| 0,057258 | -0,00978 |
| 0,052943 | -0,0088 |
| 0,048622 | -0,00782 |
| 0,048622 | -0,00782 |
| 0,039991 | -0,00587 |
| 0,03567 | -0,00489 |
| 0,03567 | -0,00489 |
| 0,03567 | -0,00489 |
| 0,03567 | -0,00489 |
| 0,031354 | -0,00391 |
| 0,027039 | -0,00293 |
| 0,022718 | -0,00195 |
| 0,018402 | -0,00098 |
| 0,014087 | -4,7E-07 |
| 0,009766 | 0,000978 |
| 0,009766 | 0,000978 |
| 0,009766 | 0,000978 |
| 0,00545 | 0,001955 |
| 0,001135 | 0,002932 |
| -0,01614 | 0,006843 |
| -0,01614 | 0,006843 |
| -0,01614 | 0,006843 |
| -0,01614 | 0,006843 |
| -0,01614 | 0,006843 |
| -0,02045 | 0,00782 |
| -0,02045 | 0,00782 |
| -0,02046 | 0,00782 |
| -0,02477 | 0,008797 |
| -0,02477 | 0,008797 |
| -0,02477 | 0,008797 |
| -0,02909 | 0,009776 |
| -0,02909 | 0,009776 |



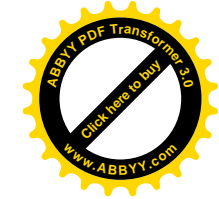
| | |
|----------|----------|
| -0,02909 | 0,009776 |
| -0,02909 | 0,009776 |
| -0,02909 | 0,009776 |
| -0,03341 | 0,010753 |
| -0,03341 | 0,010753 |
| -0,03341 | 0,010753 |
| -0,03772 | 0,011173 |
| -0,03772 | 0,011173 |
| -0,03772 | 0,011173 |
| -0,04204 | 0,012708 |
| -0,04204 | 0,012708 |
| -0,04204 | 0,012708 |
| -0,04636 | 0,013685 |
| -0,05067 | 0,014662 |
| -0,05067 | 0,014662 |
| -0,05067 | 0,014662 |
| -0,06363 | 0,017595 |
| -0,06363 | 0,017595 |
| -0,06795 | 0,018573 |
| -0,06795 | 0,018573 |
| -0,06795 | 0,018573 |

Розрахунок обернених ваг зрівноваженої функції

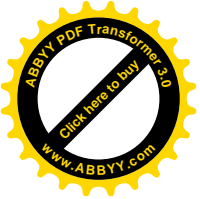
$$=AZ3*AW3+BA3*AX3 \quad (4.2.2)$$

Таблиця 18. Розрахунок обернених ваг зрівноваженої функції

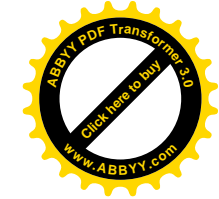
| |
|-------------------|
| $1/P=X_{тр} * Q'$ |
| 0,082591 |



| |
|----------|
| 0,077949 |
| 0,061007 |
| 0,057176 |
| 0,057176 |
| 0,05001 |
| 0,046667 |
| 0,046667 |
| 0,043492 |
| 0,043492 |
| 0,040479 |
| 0,034938 |
| 0,03005 |
| 0,027851 |
| 0,027851 |
| 0,025816 |
| 0,023941 |
| 0,022231 |
| 0,022231 |
| 0,020683 |
| 0,019298 |
| 0,019298 |
| 0,017018 |
| 0,016121 |
| 0,016121 |
| 0,016121 |
| 0,016121 |
| 0,015388 |
| 0,014818 |
| 0,01441 |
| 0,014166 |
| 0,014085 |
| 0,014166 |
| 0,014166 |
| 0,014166 |
| 0,01441 |
| 0,014817 |



| |
|----------|
| 0,018076 |
| 0,018076 |
| 0,018076 |
| 0,018076 |
| 0,018076 |
| 0,019298 |
| 0,019298 |
| 0,019298 |
| 0,020682 |
| 0,020682 |
| 0,020682 |
| 0,022231 |
| 0,022231 |
| 0,022231 |
| 0,022231 |
| 0,022231 |
| 0,022231 |
| 0,023941 |
| 0,023941 |
| 0,023941 |
| 0,023941 |
| 0,025814 |
| 0,025814 |
| 0,025814 |
| 0,027852 |
| 0,027852 |
| 0,027852 |
| 0,03005 |
| 0,032412 |
| 0,032412 |
| 0,032412 |
| 0,040476 |
| 0,040476 |
| 0,043493 |
| 0,043493 |
| 0,043493 |

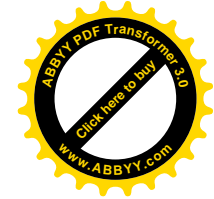
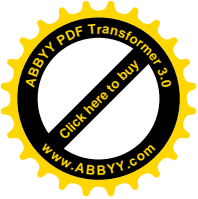


Розрахунок за формулою

$$\sigma_{y'} = \sigma_0 \sqrt{\frac{1}{P_{y'}}}. \quad (1.1.13)$$

Таблиця 19. Розрахунок в матричній формі

| m(f) |
|----------|
| 0,121833 |
| 0,11836 |
| 0,10471 |
| 0,101369 |
| 0,101369 |
| 0,094804 |
| 0,091581 |
| 0,091581 |
| 0,08841 |
| 0,08841 |
| 0,085293 |
| 0,079241 |
| 0,073489 |
| 0,070749 |
| 0,070749 |
| 0,068115 |
| 0,065594 |
| 0,063208 |
| 0,063208 |
| 0,060969 |
| 0,058891 |
| 0,058891 |
| 0,055303 |
| 0,053826 |
| 0,053826 |



| |
|----------|
| 0,053826 |
| 0,053826 |
| 0,052588 |
| 0,051605 |
| 0,05089 |
| 0,050457 |
| 0,050312 |
| 0,050457 |
| 0,050457 |
| 0,050457 |
| 0,05089 |
| 0,051604 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,058892 |
| 0,058892 |
| 0,058892 |
| 0,060967 |
| 0,060967 |
| 0,060967 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,065595 |
| 0,065595 |
| 0,065595 |
| 0,068112 |
| 0,068112 |
| 0,068112 |
| 0,07075 |
| 0,07075 |

| |
|----------|
| 0,07075 |
| 0,073489 |
| 0,076322 |
| 0,076322 |
| 0,076322 |
| 0,08529 |
| 0,08529 |
| 0,088411 |
| 0,088411 |

Контрольна формула при апроксимації поліномом першого степеня

$$Y = a + bX \quad (1.1.14)$$

буде

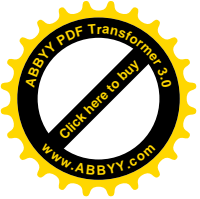
$$m_{\varphi} = \sqrt{m_b^2 \left[X_{сн.} - \frac{1}{n} \sum X \right]^2 + \mu^2 / n.} \quad (1.1.15)$$

Комп'ютерна формула

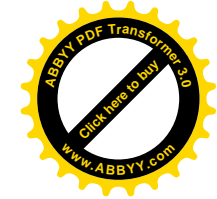
$$=(((SAWS104)^2)*(AX3-SAX$74/SAWS74)^2+(SAU$76)^2/SAWS74)^0,5 \quad (4.2.3)$$

Таблиця 20.Контрольний розрахунок

| |
|----------|
| m(f)' |
| 0,121833 |
| 0,11836 |
| 0,10471 |
| 0,101369 |
| 0,101369 |

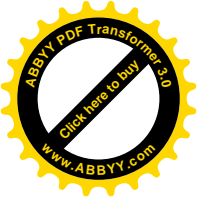


| |
|----------|
| 0,094804 |
| 0,091581 |
| 0,091581 |
| 0,08841 |
| 0,08841 |
| 0,085293 |
| 0,079241 |
| 0,073489 |
| 0,070749 |
| 0,070749 |
| 0,068115 |
| 0,065594 |
| 0,063208 |
| 0,063208 |
| 0,060969 |
| 0,058891 |
| 0,058891 |
| 0,055303 |
| 0,053826 |
| 0,053826 |
| 0,053826 |
| 0,053826 |
| 0,052588 |
| 0,051605 |
| 0,05089 |
| 0,050457 |
| 0,050312 |
| 0,050457 |
| 0,050457 |
| 0,050457 |
| 0,05089 |
| 0,051604 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |



| |
|----------|
| 0,056997 |
| 0,058892 |
| 0,058892 |
| 0,058892 |
| 0,060967 |
| 0,060967 |
| 0,060967 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,065595 |
| 0,065595 |
| 0,065595 |
| 0,068112 |
| 0,068112 |
| 0,068112 |
| 0,07075 |
| 0,07075 |
| 0,07075 |
| 0,073489 |
| 0,076322 |
| 0,076322 |
| 0,076322 |
| 0,08529 |
| 0,08529 |
| 0,088411 |
| 0,088411 |
| 0,088411 |

Повторний контроль за формулою

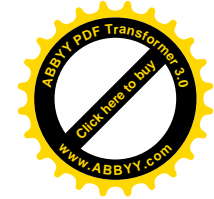


$$m_{\varphi} = m_{\gamma} = \sqrt{m_a^2(X)^2 + m_b^2(X0)^2 + 2\mu^2 Q_{12} X}. \quad (1.1.16)$$

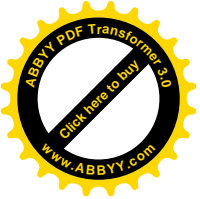
$$=(\text{SAO}\$79^{\wedge}2*\text{AR3}^{\wedge}2+\text{SAP}\$79^{\wedge}2*\text{AW3}^{\wedge}2+2*\text{SAU}\$76^{\wedge}2*\text{SAV}\$87*\text{AX3})^{\wedge}0,5 \quad (4.2.4)$$

Таблица 21. Повторний розрахунок за (1.1.16)

| |
|----------|
| Контроль |
| m(f)" |
| 0,121833 |
| 0,11836 |
| 0,10471 |
| 0,101369 |
| 0,101369 |
| 0,094804 |
| 0,091581 |
| 0,091581 |
| 0,08841 |
| 0,08841 |
| 0,085293 |
| 0,079241 |
| 0,073489 |
| 0,070749 |
| 0,070749 |
| 0,068115 |
| 0,065594 |
| 0,063208 |
| 0,063208 |
| 0,060969 |
| 0,058891 |
| 0,058891 |
| 0,055303 |
| 0,053826 |
| 0,053826 |



| |
|----------|
| 0,053826 |
| 0,053826 |
| 0,052588 |
| 0,051605 |
| 0,05089 |
| 0,050457 |
| 0,050312 |
| 0,050457 |
| 0,050457 |
| 0,050457 |
| 0,05089 |
| 0,051604 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,056997 |
| 0,058892 |
| 0,058892 |
| 0,058892 |
| 0,060967 |
| 0,060967 |
| 0,060967 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,063209 |
| 0,065595 |
| 0,065595 |
| 0,065595 |
| 0,068112 |
| 0,068112 |
| 0,068112 |



| |
|----------|
| 0,07075 |
| 0,07075 |
| 0,07075 |
| 0,073489 |
| 0,076322 |
| 0,076322 |
| 0,076322 |
| 0,08529 |
| 0,08529 |
| 0,088411 |
| 0,088411 |
| 0,088411 |

ВИСНОВКИ

1. Так як $F_{табл} < F_{розр}$ $3,130 < 1483,681$, то з надійністю $P=0.95$ можна вважати, що побудована нами математична модель відповідає експериментальним даним і її можна використовувати для практичних розрахунків.

2. Статистично значимим являється коефіцієнт a $t(a)=38,518$, що більше 1,995.

3. Статистично значимим є коефіцієнт b $t(b)=44,700$.

4. Середня квадратична похибка одиниці ваги $\mu=0,4239$ кг.

5. Середні квадратичні похибки визначених коефіцієнтів:

$m(a)=0,0459$; $m(b)=0,209$.

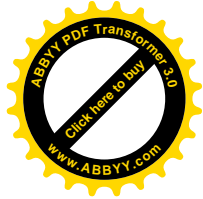
6. За результатами досліджень нами отримана формула

$$Y = 1.768571X + 9,339563, \quad (4.9)$$

де Y - вага (кг); X - вік (роки).

7. Коефіцієнт кореляції $r = R=0.976$, що говорить про високий зв'язок між X і Y .

8. При точності виміру ваги дітей в 0,424 кг забезпечується повна адекватність моделі експериментальним даним.



9. Точність визначення ваги $\mu=1,612$ кг говорить про наявність відхилення в розвитку деяких дітей від норми

ЗАКЛЮЧЕННЯ

На основі проведених досліджень нами встановлено:

1. Побудована і досліджена математична модель залежності росту дитини Y від ваги X (пряма задача) на основі даних антропометричних досліджень дитячого дошкільного навчального закладу «Барвінок» Рівненської області Рокитнівського району с. Карпилівки поліномом першого степеня

$$Y = 0.022311X + 0.675948 \quad (2.1.1)$$

2. Побудована і досліджена математична модель залежності росту дитини X від ваги Y (обернена задача) поліномом першого степеня

$$Y = 27.32723X - 11,7777, \quad (3.1.1)$$

3. Побудована і досліджена математична модель залежності росту дитини X від ваги Y (обернена задача) поліномом другого степеня

$$Y = 24.11765X^2 - 23,114X + 14.46548, \quad (3.2.2)$$

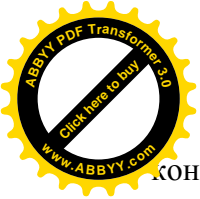
4. Побудована і досліджена імітаційна математична модель залежності віку дитини X від ваги Y (обернена задача) поліномом першого степеня

$$Y = 1.768571X + 9,339563, \quad (4.9)$$

5. Встановлено: При точності виміру ваги дітей з точністю в 0,424 кг, забезпечується повна адекватність моделі експериментальним даним.

6. Точність визначення ваги $\mu=1,612$ кг говорить про наявність відхилення в розвитку деяких дітей від норми

7. На основі проведених досліджень появляється можливість встановлювати нормальний розвиток

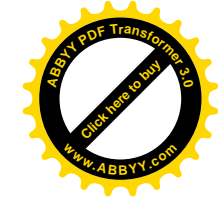


конкретної дитини для даного регіону, прогнозувати цей розвиток і, при необхідності, корегувати його

8. Нормальний розвиток дитини залежить від конкретної географічної прив'язки (широти, довготи).

ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Бернацька О.М., Тимчук О.С. Побудова математичної моделі залежності росту дитини від віку і її дослідження методом статистичних випробувань Монте Карло. Апроксимація поліномом третього степеня. Модель ППП 81-14. Науковий керівник Р.М.Літнарівич. МEGУ, Рівне, 2008,- 32 с.
2. Бугір М.К. Математика для економістів. Посібник.- К.: Видавничий центр «Академія», 2003,- 520 с.
3. Бура І.В. Дослідження точності впливу ситуативної тривожності на характеристики пам'яті методом статистичних випробувань Монте Карло. Модель ГБ 41-14. Науковий керівник Р.М.Літнарівич. МEGУ, Рівне, 2009,- 32 с.
4. Валецький О.О., Джунь Й.В. Методи створення послідовностей рівномірно розподілених випадкових чисел та їх застосування. // Збірник наукових праць викладачів та студентів факультету кібернетики МEGУ. Рівне: Тетіс, 2008,- с.66-69.
5. Джунь Й.В., Валецький О.О. Про одну невідому особливість числа π . // Збірник наукових праць викладачів та студентів факультету кібернетики МEGУ. Рівне: Тетіс, 2008,- с.59-65.
6. Джунь Й.В., Валецький О.О. Про нову, невідому властивість числа π . // Тези доповіді на X Міжнародній конференції «Економічні та гуманітарні проблеми розвитку суспільства у III тисячолітті». Рівне 3-5.10.2007 р.



7. Джунь А.Й. Побудова і дослідження математичної моделі залежності між ростом і вагою дітей методом статистичних випробувань Монте Карло. Апроксимація поліномом першого степеня. Модель ДА-50. Науковий керівник Р.М.Літнарівич. МEGУ, Рівне, 2009,- 32 с.

8. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам і программам на мові БЕЙСИК для персональних ЕВМ.-М. Наука, 1989,-240 с.

9. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Курс статистического моделирования.-М.: Наука, 1976,- 319 с.

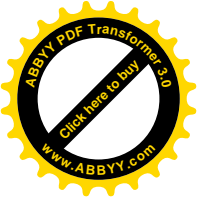
10. Корнілова Н.Ф., Драпко Д.О. Побудова математичної моделі залежності ваги дитини від віку і її дослідження методом статистичних випробувань Монте Карло. Апроксимація поліномом першого степеня. Модель ППП81-14. Науковий керівник Р.М.Літнарівич. МEGУ, Рівне, 2009,- 32 с.

11. Літнарівич Р.М. Дослідження точності апроксимації результатів психолого-педагогічного експерименту методом статистичних випробувань Монте Карло. Частина 1. Побудова істинної моделі. МEGУ, Рівне, 2006,-45 с.

12. Літнарівич Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі залежності між ростом і вагою дітей методом статистичних випробувань Монте Карло. Істинна модель. Апроксимація поліномом першого степеня. МEGУ, Рівне,- 2009,- 32 с.

13. Літнарівич Р.М. Побудова і дослідження економіко-математичної моделі поліномом m -го порядку. Вісник МEGУ. Збірник наукових праць. Серія: Системні науки та кібернетика. Випуск 1. МEGУ, Рівне, 2009.- с.41-51.

14. Літнарівич Р.М. Застосування способу найменших квадратів до обробки матеріалів психологічних і педагогічних експериментів. Частина 2. Курс лекцій. МEGУ, Рівне, 2007.- 110 с.



15. Літнарівч Р.М. Конструювання і дослідження математичних моделей. Множинний аналіз. Частина 1. МЕНУ, Рівне, 2009.-127с.

16. Літнарівч Р.М. Конструювання і дослідження математичних моделей. Поліноміальна апроксимація. Частина 2. МЕНУ, Рівне, 2009.-36с.

17. Літнарівч Р.М. Конструювання і дослідження математичних моделей. Онтодидактика поліноміальної апроксимації. Частина 3. МЕНУ, Рівне, 2009.-32с.

18. Літнарівч Р.М. Конструювання і дослідження математичних моделей. Побудова і дослідження істинної моделі якості засвоєння базової дисципліни. Апроксимація поліномом першого степеня. Частина 4. МЕНУ, Рівне, 2009.-43с.

19. Літнарівч Р.М. Конструювання і дослідження математичних моделей. Теоретико-методологічні основи побудови математичної моделі базової дисципліни в рамках роботи наукової школи. Частина 5. МЕНУ, Рівне, 2009.-100с.

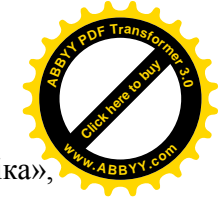
20. Літнарівч Р.М. Конструювання і дослідження математичних моделей. Модель пункту GPS спостережень. Частина 6. МЕНУ, Рівне, 2009.-104с.

21. Літнарівч Р.М., Кравцов М.І. До питання оцінки точності визначення координат пункту із GPS спостережень. Інженерна геодезія. Вип. 50, К.:КНУБА, 2004,-с.125...134.

22. Літнарівч Р.М. Основи космічної геодезії.Лабораторний практикум . ЧДІЕіУ, Чернігів, 2002.-90 с.

23. Літнарівч Р.М., Кравцов М.І. Перехід від геодезичних координат загально земного еліпсоїда до плоских конформних Гаусса-Крюгера.Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування.- Європейський досвід. ЧДІЕіУ, Чернігів, 2005,-с.44...49.

24. Методичні вказівки до лабораторної роботи на тему:”Визначення координат пункту за виміряними псевдо відстанями , отриманими із GPS спостережень” для студентів всіх спеціальностей геодезичного факультету Державного університету «Львівська політехніка» /укладення



А.Т.Дульцев, І.М.Цюпак.-Львів: ДУ «Львівська політехніка», 1977,- 20 с.

25.Ромакін М.И. Математический аппарат оптимизационных задач.-М.:Статистика, 1975,112 с.

26. Ржевский С.В.,Александрова В.М. Дослідження операцій. Підручник.- К.:” Академвидав“, 2006,-560 с.

27. Программирование, отладка и решение задач на ЭВМ единой серии. Язык Фортран. Учебн. Пособие для вузов/И.А.Кудряшов,Н.Х.Кушнер, Л.В. Петрова,Н.А.Сиров; Под ред.И.А.Кудряшева.-Л.:Энергоатомиздат,1988,-208 с.

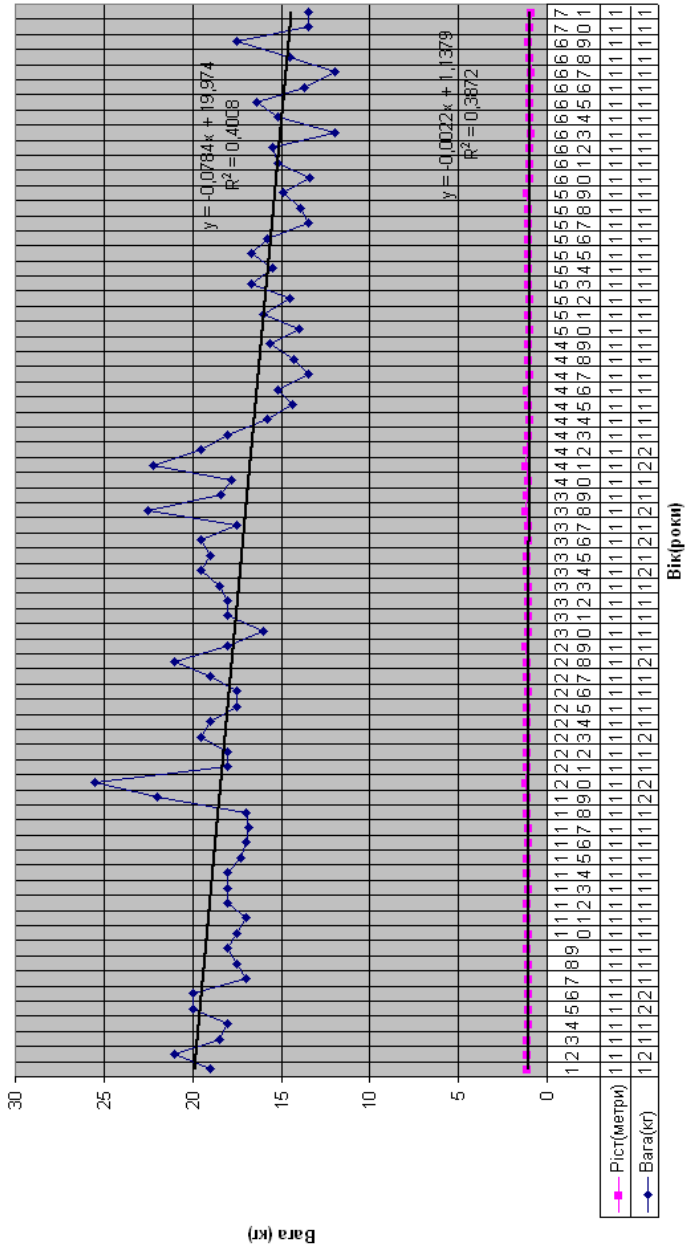
28. Тойберт П. Оценка точности результатов измерений: пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1988,-88 с.

29.ТолбатовЮ.А.Економетрика.Тернопіль.Видавництво «Підручники і посібники »,2008,-288 с.

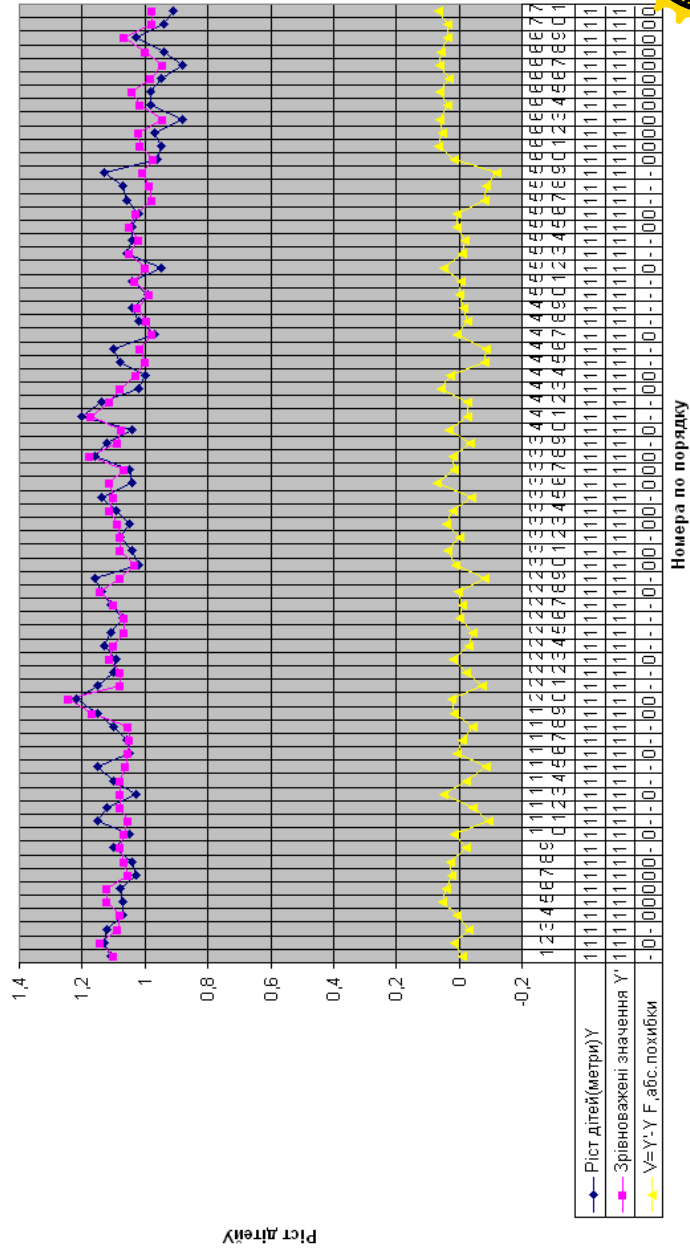
30. Якимчук А.Й.Побудова і дослідження математичної моделі пункту GPS спостережень методом статистичних випробувань Монте Карло. Множинний регресійний аналіз . Модель ДА – 50. МЕНУ, Рівне, 2010, - 112 с.

ДОДАТКИ

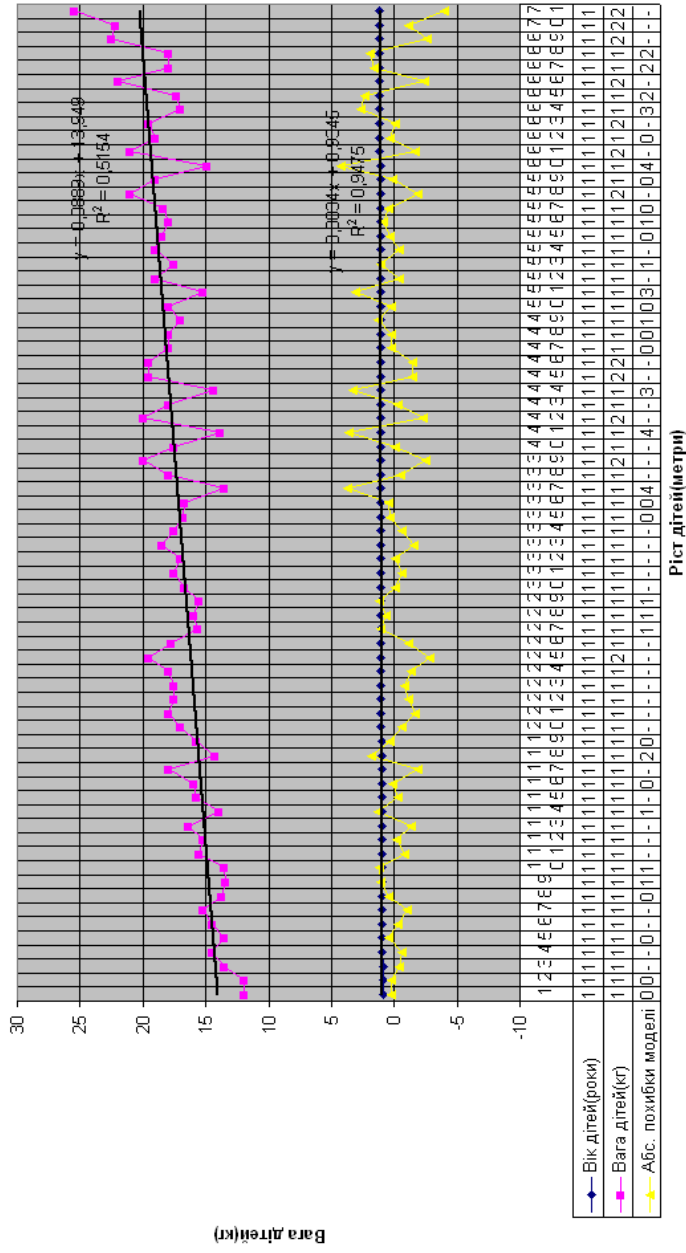
ЗАЛЕЖНІСТЬ РОСТУ ДІТИНИ ВІД ВАГИ(не ранжирований ряд)



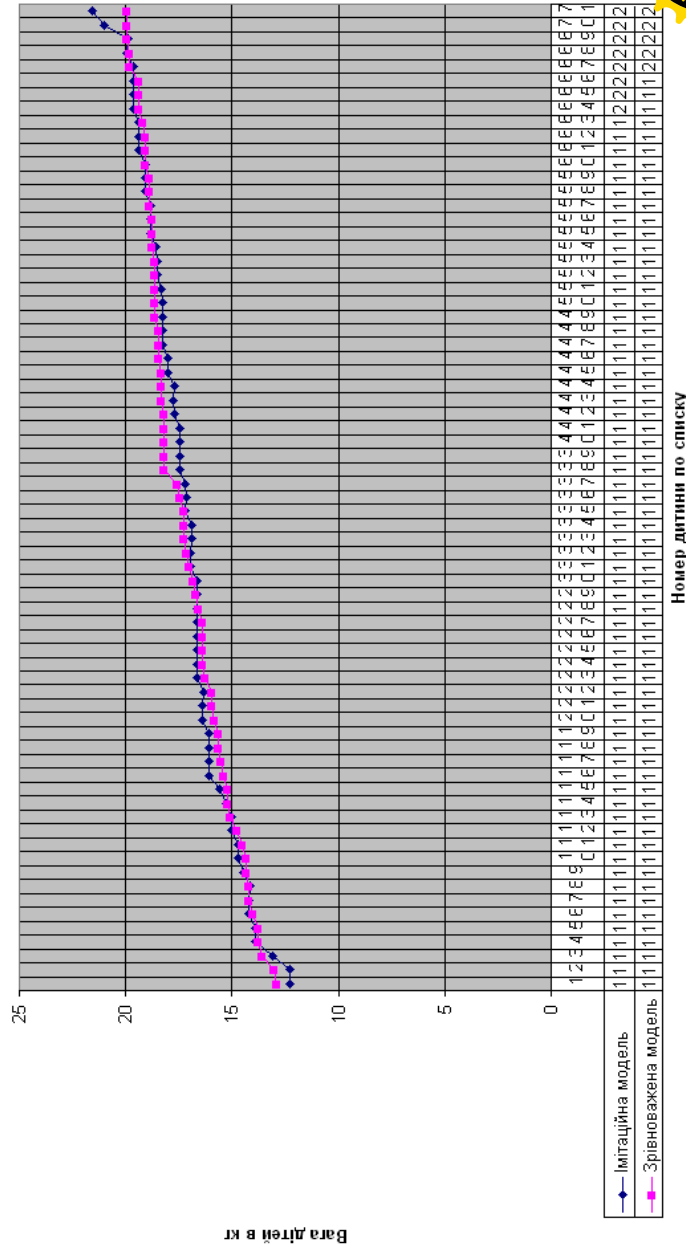
Статистичні і зрівноважені значення росту дітей У(не ранжирований ряд)



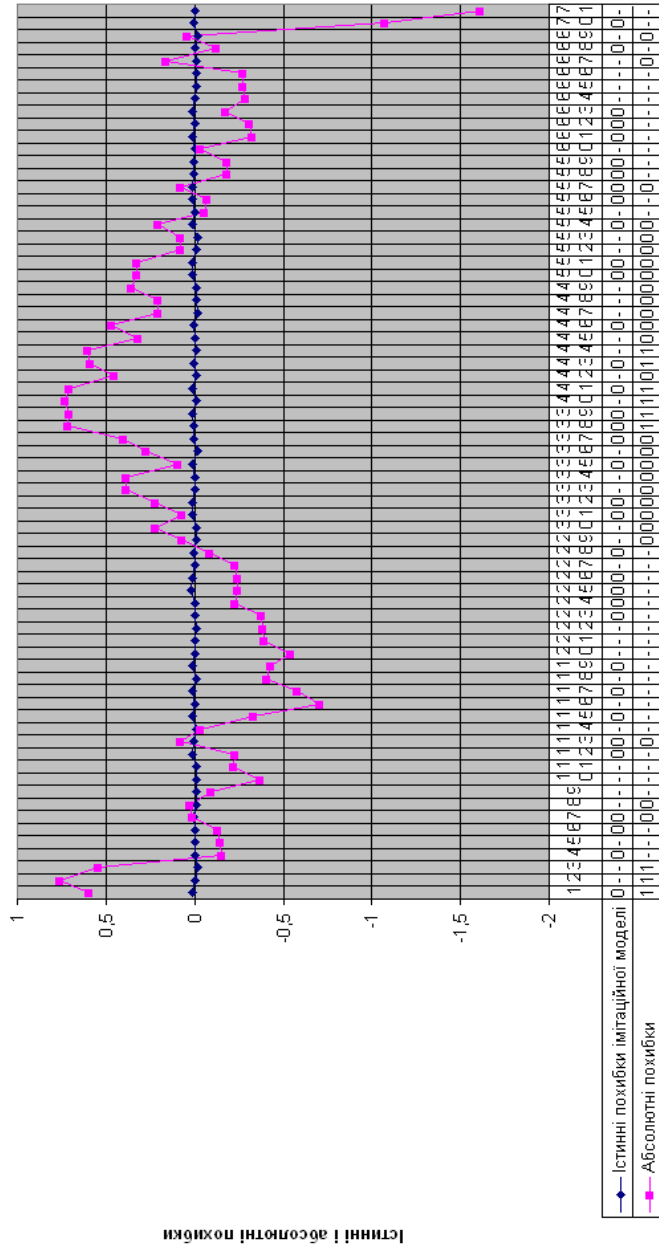
Залежність росту дітей від ваги (ранжирований ряд)



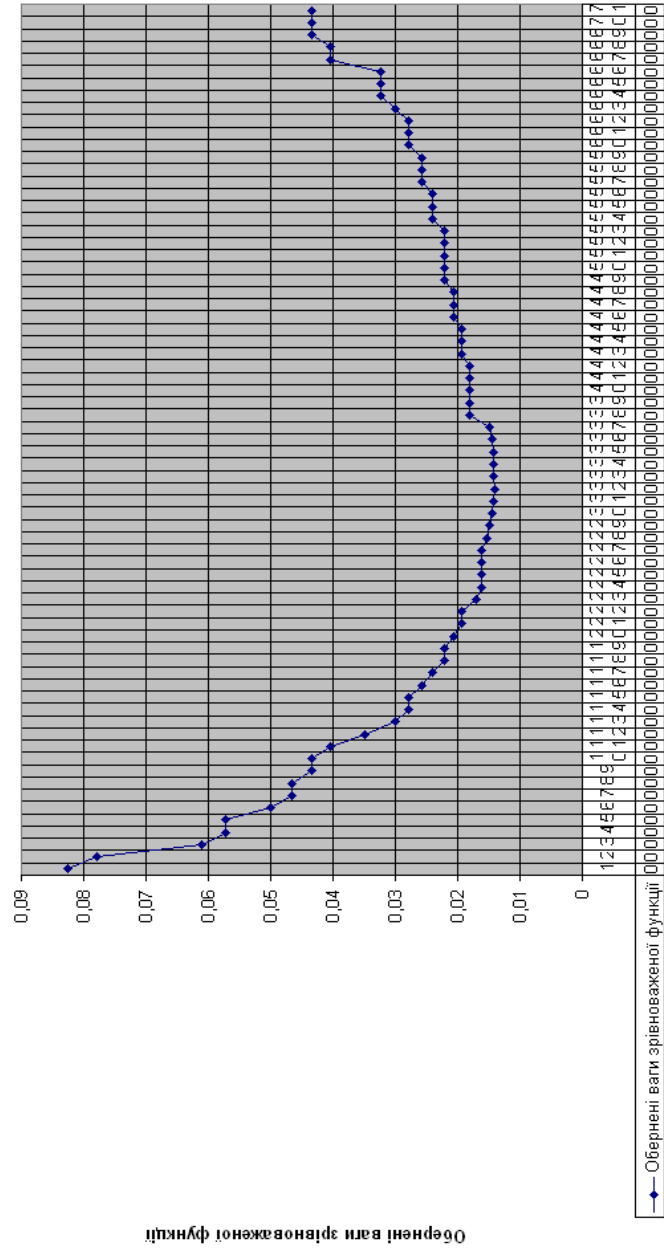
Імітаційна і зрівноважена моделі

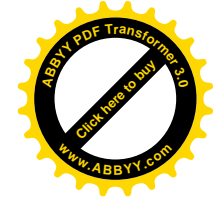
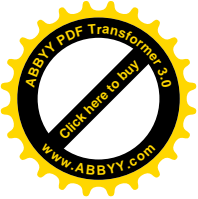


Істинні і абсолютні похибки імітаційної моделі

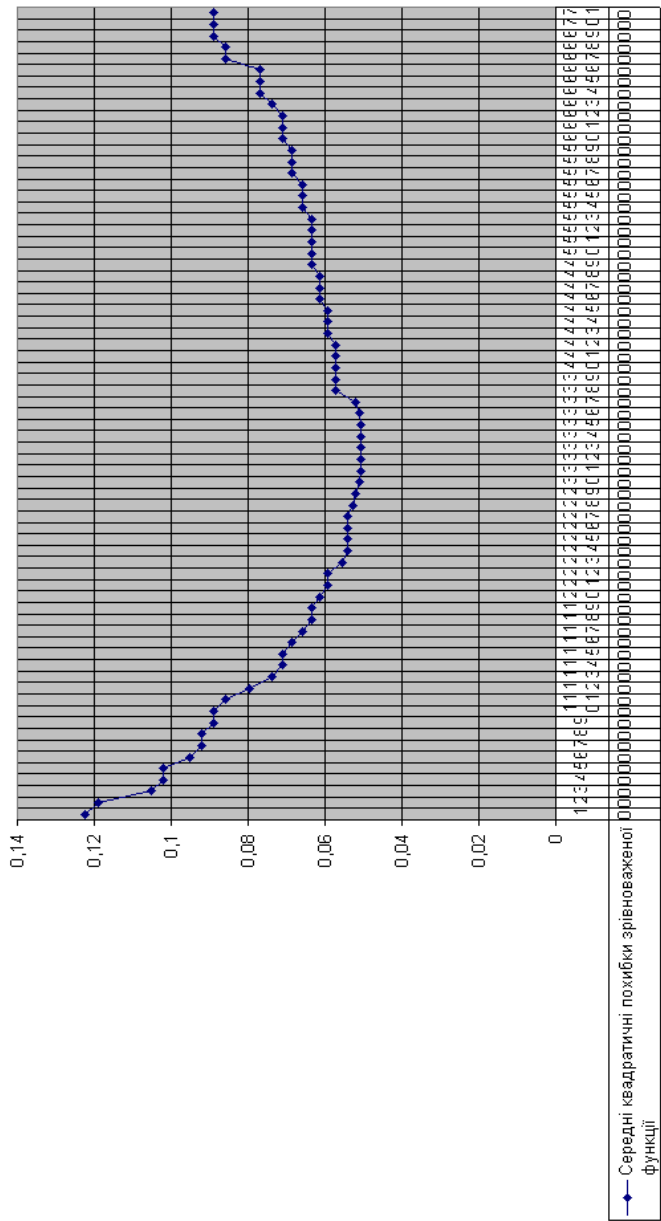


Обернені ваги зрівноваженої функції





Середні квадратичні похибки зрівноваженої функції



Середні квадратичні похибки зрівноваженої функції

Р.М.ЛІТНАРОВИЧ

КОНСТРУЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ
МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

ЗАЛЕЖНІСТЬ РОСТУ ДІТЕЙ ВІД ВАГИ
ЧАСТИНА 7

Наукове видання

Комп'ютерний набір, верстка і макетування та дизайн
в редакторі Microsoft®Office® Word 2003 Р.М.
Літнарівч

Міжнародний економіко-гуманітарний університет

ім.акад. Степана Дем'янчука

Кафедра математичного моделювання

33027,м.Рівне,Україна

Вул.акад. С.Дем'янчука,4, корпус 1

Телефон:(+00380) 362 23-73-09

Факс:(+00380) 362 23-01-86

E-mail:mail@regi.rovno.ua