

---

## **ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДА НА НАЙ-МАЛКИТЕ КВАДРАТИ ЗА РЕШАВАНЕ НА ОПТИМИЗАЦИОННИ ЗАДАЧИ В ТРАНСПОРТА С ИЗПОЛЗВАНЕ НА MS EXCEL SOLVER**

**Ставри Димитров**

[stavri\\_dimitrov@hotmail.com](mailto:stavri_dimitrov@hotmail.com)

*Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,  
катедра “Технология, организация и управление на транспорта”,  
ул. “Гео Милев” 158, София 1574,  
БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** приложение, метод на най-малките квадрати, ms excel, оптимизационни задачи, ms excel solver, единична линейна регресия, уравнение на регресия, регресионни коефициенти, транспорт

**Резюме:** Целта на настоящата публикация е да представи някои от възможностите на инструмента Microsoft® Excel Solver като средство за решаване на оптимизационни задачи в областта на транспорта. За постигане на целта, с емпирични данни от [3] е решен числен пример, в който по метода на най-малките квадрати, чрез използване на MS Solver, са изчислени оценките на неизвестните параметри на линеен еднофакторен регресионен модел, избран за аналитично описание на връзката между случайните променливи величини “скорост на движение на трамваен транспорт” и “средно разстояние между спирките”.

### **1. Увод.**

Съществуващото разнообразие от изчислителни програмни средства и специализирани статистически софтуерни пакети, предназначени основно за извършване на статистическа обработка на данни и статистически анализи като регресионен, корелационен, дисперсионен и др., предоставя на потребителите възможност за избор на подходящия за техните потребности софтуер. Една от възможните алтернативи за извършване на математически изчисления и статистически анализи е офис приложението Microsoft® Excel [4], а за решаване на оптимизационни задачи - вградения в MS Excel инструмент MS Excel Solver.

### **2. Предпоставки и начини за разрешаване на проблема.**

Функционалност MS Excel Solver е от т.нар. Add-In инструменти, който след предварително инсталиране, е достъпен в програмата MS Excel и може да се използва за дефиниране и решаване на разнообразни по сложност и размерност оптимизационни задачи в различните научни области. Инструментът MS Solver дава възможност на потребителите, чрез разработен за това графичен потребителски интерфейс, ползвайки предварително въведените на работен лист (worksheet) в програмната среда на MS Excel входни данни, в диалогов режим да укажат търсената цел: минимум, максимум или точно определена стойност на зададения модел – линеен или нелинеен – и след

въвеждане на съпътстващите модела ограничения, лесно да дефинират и бързо да решат конкретна задача.

Настоящата публикация не представлява ръководство за работа със *Solver*. Представеният в публикацията материал е насочен не към описание на начина на работа на реализираните в *MS Excel Solver* изчислителни алгоритми, а по-скоро към тяхното практическо приложение при разрешаване на реални проблеми. Целта на публикацията е, чрез решаване на конкретен пример, да представи някои от възможностите за използване на *MS Solver* в областта на транспорта.

### 3. Решение на проучения проблем.

За постигане на поставената цел е решен и описан в публикацията следния числен пример, представящ примерно приложение на *MS Solver* в транспорта за изчисляване на коефициентите на уравнение на регресия: За показаните в табл. 1 средни стойности на разстоянията между спирките  $X_i$  (m) и скоростта на движение на трамваите  $Y_i$  (km/h), по метода на най-малките квадрати [1,2,3], чрез използване на *MS Excel Solver*, да се изчислят оценките на параметрите на неизвестен линеен еднофакторен регресионен модел.

Таблица 1 – Емпирични данни

| $X_i$ | $Y_i$ | $X_i$ | $Y_i$ | $X_i$ | $Y_i$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 400   | 13,9  | 476   | 15,9  | 512   | 15,4  |
| 402   | 14,2  | 478   | 15,5  | 516   | 16,6  |
| 435   | 15,7  | 482   | 15,5  | 522   | 16,4  |
| 445   | 15,1  | 483   | 15,5  | 526   | 16,4  |
| 448   | 15,6  | 484   | 16,1  | 532   | 17,5  |
| 450   | 15,4  | 492   | 15,7  | 533   | 17,2  |
| 457   | 15,2  | 495   | 15,6  | 536   | 16,9  |
| 457   | 15,7  | 497   | 16,6  | 539   | 15,4  |
| 465   | 15,9  | 500   | 17,8  | 560   | 17,5  |
| 469   | 15,3  | 506   | 15,2  | 562   | 16,5  |

Нека за описание на връзката между двете променливи  $Y$  и  $X$  е избран линеен регресионен модел. Както знаем от [2], когато се работи с генерална съвкупност, неизвестният линеен регресионен модел има вида:

$$(1) \quad Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_i + \varepsilon_i,$$

където:  $\beta_0$  и  $\beta_1$  – неизвестни параметри на модела;

$\varepsilon_i$  – случаен компонент в модела.

За целите на разглеждания пример са обработени публикуваните в [3] данни от извършени 30 на брой наблюдения (табл. 1) върху стойностите на параметрите “средно разстояние между спирките” и “скорост на движение” в системата на градския обществен транспорт. В случаите като този, когато се работи с данни от направена извадка, за линейния регресионен модел, съгласно [2] можем да запишем:

$$(2) \quad Y_i = b_0 + b_1 \cdot X_i + e_i,$$

в който:  $b_0$  и  $b_1$  – регресионни коефициенти, а  $e_i$  – остатъци.

Общият вид на линейното уравнение на регресия, използвано за описание на зависимостта на  $Y$  във функция от  $X$  е:

$$(3) \quad \hat{Y}_i = b_0 + b_1 \cdot X_i$$

В примера скоростта на движение на превозните средства на трамвайния транспорт е зависимата (результативната) променлива величина  $Y$ , а средното разстояние между спирките – независимата (факторната) променлива величина  $X$ .

Коефициентите  $b_0$  и  $b_1$ , в съответствие с [1], се явяват точкови оценки на неизвестните параметри  $b_0$  и  $b_1$  в регресионния модел (1). Стойностите на регресионните коефициенти  $b_0$  и  $b_1$  могат да се изчислят по метода на най-малките квадрати, при който се минимизират стойностите на отклоненията на емпиричните (наблюдаваните) точки  $Y_i$  от теоретичните (предвидените) стойности, лежащи на регресионната права, т.е. търси се минимум на сумата от квадратите на остатъците, обозначена в [2] като остатъчна девиация  $SSE$ :

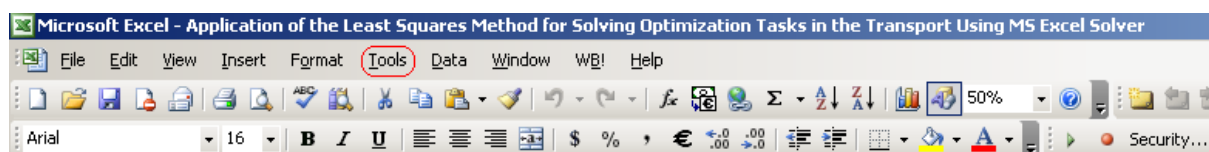
$$(4) \quad SSE = \sum_{i=1}^n \left( Y_i - \hat{Y}_i \right)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 \rightarrow \min$$

Съгласно метода на най-малките квадрати регресионната права се прокарва така, че да минава възможно най-близко до всички точки. Разположението и наклонът на правата в координатната система се определят от стойностите на регресионните коефициенти  $b_0$  и  $b_1$ .

След заместване на формула (3) в (4) получаваме:

$$(5) \quad SSE = \sum_{i=1}^n \left( Y_i - \hat{Y}_i \right)^2 = \sum_{i=1}^n \left( Y_i - (b_0 + b_1 \cdot X_i) \right)^2 = \sum_{i=1}^n \left( Y_i - b_0 - b_1 \cdot X_i \right)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 \rightarrow \min$$

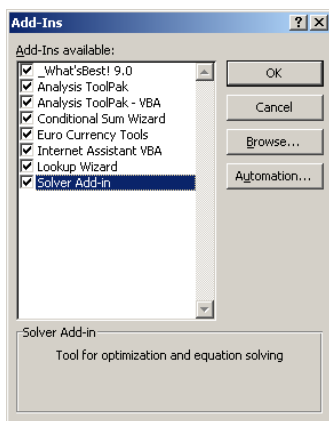
Решението на задачата с използване на *MS Excel Solver* се намира след извършване на следната последователност от действия: Функционалност *Solver* се извиква от меню "Tools" (Инструменти) (фиг.1), от което се избира "Solver..."



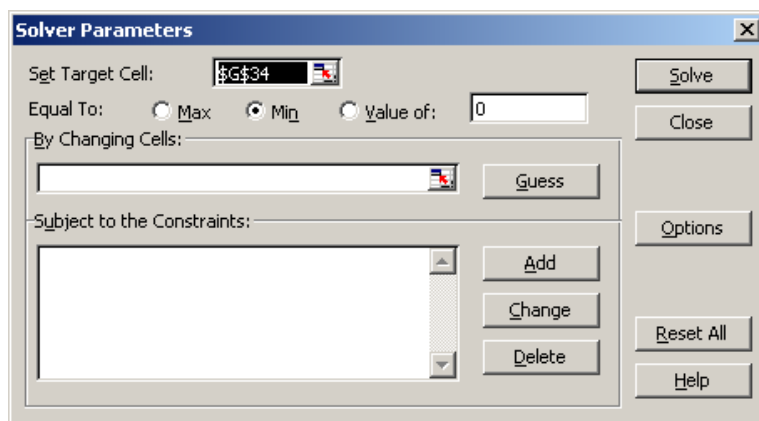
Фиг. 1. Избор на меню "Инструменти"

Както беше обяснено по-горе *Solver* е *Add-In* инструмент. Това означава, че ако при отваряне на меню "Tools" *Solver* не се "вижда", т.е. не е добавен, същият следва да се добави. Това може да стане, след като от меню "Tools" се избере "Add-Ins..."

В отвореният се прозорец "Add-Ins..." (фиг. 2), с маркиране на "Solver Add-In" и поставяне на отметка, потребителят указва, че желае функционалността да бъде добавена. След като оптимизационния инструмент *Solver* е добавен, същият се пуска в действие, чрез избиране отново на меню "Tools" -> "Solver...". В резултат на това се показва прозореца "Solver Parameters" (*Solver* параметри) (фиг. 3).



Фиг. 2.Прозорец "Add-Ins"



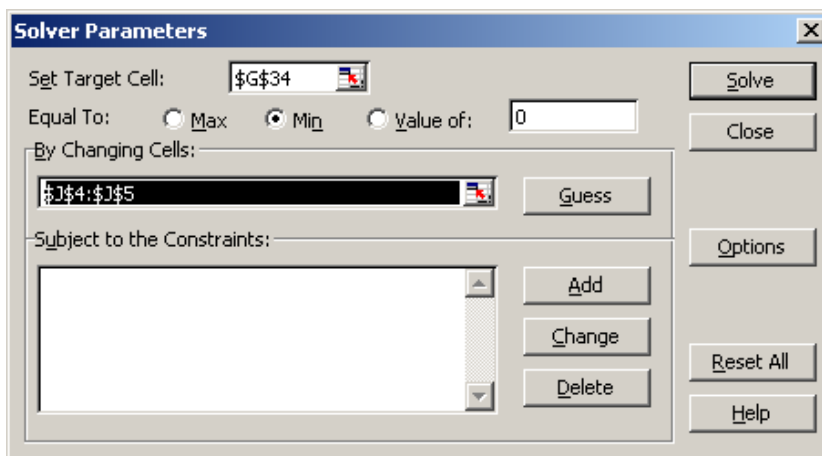
Фиг. 3.Прозорец "Solver параметри"

Тъй като в задачата се минимизира сумата от квадратите на остатъците, в прозореца "Solver Parameters" се избира "Min", а в полето "Set Target Cell:" като целева се указва клетката \$G\$34 (фиг. 4), в която Solver ще изчисли стойността на търсения минимум. За успешно извършване на изчисленията е необходимо в целевата клетка предварително да е въведена формула (фиг. 4).

|    | A | B                                                                                                                           | C     | D     | E           | F                 | G                     | H                                 | I         | J | K |
|----|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------|---|---|
| 1  |   |                                                                                                                             |       |       |             |                   |                       |                                   |           |   |   |
| 2  |   | Таблица 2                                                                                                                   |       |       |             |                   |                       | Таблица 3                         |           |   |   |
| 3  |   | $i$                                                                                                                         | $X_i$ | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $Y_i - \hat{Y}_i$ | $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$ | Регресионни коефициенти           | Стойности |   |   |
| 4  |   | 1                                                                                                                           | 400   | 13,9  | 0,0         | 13,900            | 193,210               | $b_0 =$                           | 0,000     |   |   |
| 5  |   | 2                                                                                                                           | 402   | 14,2  | 0,0         | 14,200            | 201,640               | $b_1 =$                           | 0,000     |   |   |
| 6  |   | 3                                                                                                                           | 435   | 15,7  | 0,0         | 15,700            | 246,490               | Регресионно уравнение:            |           |   |   |
| 7  |   | 4                                                                                                                           | 445   | 15,1  | 0,0         | 15,100            | 228,010               | $\hat{Y}_i = b_0 + b_1 \cdot X_i$ |           |   |   |
| 8  |   | 5                                                                                                                           | 448   | 15,6  | 0,0         | 15,600            | 243,360               |                                   |           |   |   |
| 9  |   | 6                                                                                                                           | 450   | 15,4  | 0,0         | 15,400            | 237,160               |                                   |           |   |   |
| 10 |   | 7                                                                                                                           | 457   | 15,2  | 0,0         | 15,200            | 231,040               |                                   |           |   |   |
| 11 |   | 8                                                                                                                           | 457   | 15,7  | 0,0         | 15,700            | 246,490               |                                   |           |   |   |
| 12 |   | 9                                                                                                                           | 465   | 15,9  | 0,0         | 15,900            | 252,810               |                                   |           |   |   |
| 13 |   | 10                                                                                                                          | 469   | 15,3  | 0,0         | 15,300            | 234,090               |                                   |           |   |   |
| 14 |   | 11                                                                                                                          | 476   | 15,9  | 0,0         | 15,900            | 252,810               |                                   |           |   |   |
| 15 |   | 12                                                                                                                          | 478   | 15,5  | 0,0         | 15,500            | 240,250               |                                   |           |   |   |
| 16 |   | 13                                                                                                                          | 482   | 15,5  | 0,0         | 15,500            | 240,250               |                                   |           |   |   |
| 17 |   | 14                                                                                                                          | 483   | 15,5  | 0,0         | 15,500            | 240,250               |                                   |           |   |   |
| 18 |   | 15                                                                                                                          | 484   | 16,1  | 0,0         | 16,100            | 259,210               |                                   |           |   |   |
| 19 |   | 16                                                                                                                          | 492   | 15,7  | 0,0         | 15,700            | 246,490               |                                   |           |   |   |
| 20 |   | 17                                                                                                                          | 495   | 15,6  | 0,0         | 15,600            | 243,360               |                                   |           |   |   |
| 21 |   | 18                                                                                                                          | 497   | 16,6  | 0,0         | 16,600            | 275,560               |                                   |           |   |   |
| 22 |   | 19                                                                                                                          | 500   | 17,8  | 0,0         | 17,800            | 316,840               |                                   |           |   |   |
| 23 |   | 20                                                                                                                          | 506   | 15,2  | 0,0         | 15,200            | 231,040               |                                   |           |   |   |
| 24 |   | 21                                                                                                                          | 512   | 15,4  | 0,0         | 15,400            | 237,160               |                                   |           |   |   |
| 25 |   | 22                                                                                                                          | 516   | 16,6  | 0,0         | 16,600            | 275,560               |                                   |           |   |   |
| 26 |   | 23                                                                                                                          | 522   | 16,4  | 0,0         | 16,400            | 268,960               |                                   |           |   |   |
| 27 |   | 24                                                                                                                          | 526   | 16,4  | 0,0         | 16,400            | 268,960               |                                   |           |   |   |
| 28 |   | 25                                                                                                                          | 532   | 17,5  | 0,0         | 17,500            | 306,250               |                                   |           |   |   |
| 29 |   | 26                                                                                                                          | 533   | 17,2  | 0,0         | 17,200            | 295,840               |                                   |           |   |   |
| 30 |   | 27                                                                                                                          | 536   | 16,9  | 0,0         | 16,900            | 285,610               |                                   |           |   |   |
| 31 |   | 28                                                                                                                          | 539   | 15,4  | 0,0         | 15,400            | 237,160               |                                   |           |   |   |
| 32 |   | 29                                                                                                                          | 560   | 17,5  | 0,0         | 17,500            | 306,250               |                                   |           |   |   |
| 33 |   | 30                                                                                                                          | 562   | 16,5  | 0,0         | 16,500            | 272,250               |                                   |           |   |   |
| 34 |   | $\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - (b_0 + b_1 \cdot X_i))^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \text{SUM}(G4:G33)$ |       |       |             |                   |                       |                                   |           |   |   |
| 35 |   | SUM(number1; [number2]; ...)                                                                                                |       |       |             |                   |                       |                                   |           |   |   |
| 36 |   |                                                                                                                             |       |       |             |                   |                       |                                   |           |   |   |

Фиг. 4.Начални стойности

Настройките по дефиниране на задачата приключват с посочване в полето "By Changing Cells:" (фиг. 5) на обхвата от клетки \$J\$4:\$J\$5 (табл. 3), съдържащи стойности, чрез промяна на които Solver ще намери минимум на функция (5), който ще върне като резултат във вече избраната целева клетка (\$G\$34).



Фиг. 5.Прозорец "Solver параметри"

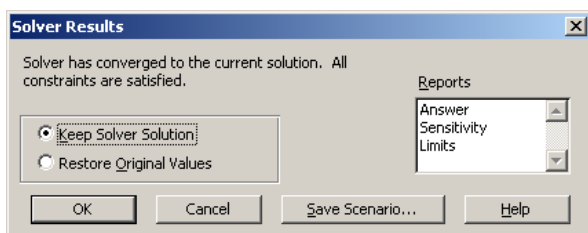
След като задачата е дефинирана, за начало на изчислителните процедури се натиска бутона "Solve". Намереният минимум (клетка G34) и стойностите на регресионните коефициенти (клетки J4 и J5), минимизиращи сумата от квадратите на остатъците, получени в резултат от извършените изчисления, са показани в табл. 4 и табл. 5 от работния лист (worksheet), представен на фиг. 6.

|    | A | B                                                                                                        | C     | D     | E           | F                 | G                     | H                                                                                     | I | J         | K |
|----|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------|---|
| 1  |   |                                                                                                          |       |       |             |                   |                       |                                                                                       |   |           |   |
| 2  |   | Таблица 4                                                                                                |       |       |             |                   |                       | Таблица 5                                                                             |   |           |   |
| 3  |   | $i$                                                                                                      | $X_i$ | $Y_i$ | $\hat{Y}_i$ | $Y_i - \hat{Y}_i$ | $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$ | Регрессионни коефициенти                                                              |   | Стойности |   |
| 4  |   | 1                                                                                                        | 400   | 13,9  | 14,5        | -0,567            | 0,321                 | $b_0 =$                                                                               |   | 7,970     |   |
| 5  |   | 2                                                                                                        | 402   | 14,2  | 14,5        | -0,299            | 0,090                 | $b_1 =$                                                                               |   | 0,016     |   |
| 6  |   | 3                                                                                                        | 435   | 15,7  | 15,0        | 0,665             | 0,442                 | Регрессионно уравнение:<br>$\hat{Y}_i = b_0 + b_1 \cdot X_i = 7,97 + 0,016 \cdot X_i$ |   |           |   |
| 7  |   | 4                                                                                                        | 445   | 15,1  | 15,2        | -0,098            | 0,010                 |                                                                                       |   |           |   |
| 8  |   | 5                                                                                                        | 448   | 15,6  | 15,2        | 0,353             | 0,125                 |                                                                                       |   |           |   |
| 9  |   | 6                                                                                                        | 450   | 15,4  | 15,3        | 0,121             | 0,015                 |                                                                                       |   |           |   |
| 10 |   | 7                                                                                                        | 457   | 15,2  | 15,4        | -0,193            | 0,037                 |                                                                                       |   |           |   |
| 11 |   | 8                                                                                                        | 457   | 15,7  | 15,4        | 0,307             | 0,094                 |                                                                                       |   |           |   |
| 12 |   | 9                                                                                                        | 465   | 15,9  | 15,5        | 0,377             | 0,142                 |                                                                                       |   |           |   |
| 13 |   | 10                                                                                                       | 469   | 15,3  | 15,6        | -0,288            | 0,083                 |                                                                                       |   |           |   |
| 14 |   | 11                                                                                                       | 476   | 15,9  | 15,7        | 0,199             | 0,039                 |                                                                                       |   |           |   |
| 15 |   | 12                                                                                                       | 478   | 15,5  | 15,7        | -0,234            | 0,055                 |                                                                                       |   |           |   |
| 16 |   | 13                                                                                                       | 482   | 15,5  | 15,8        | -0,299            | 0,089                 |                                                                                       |   |           |   |
| 17 |   | 14                                                                                                       | 483   | 15,5  | 15,8        | -0,315            | 0,099                 |                                                                                       |   |           |   |
| 18 |   | 15                                                                                                       | 484   | 16,1  | 15,8        | 0,269             | 0,072                 |                                                                                       |   |           |   |
| 19 |   | 16                                                                                                       | 492   | 15,7  | 16,0        | -0,261            | 0,068                 |                                                                                       |   |           |   |
| 20 |   | 17                                                                                                       | 495   | 15,6  | 16,0        | -0,410            | 0,168                 |                                                                                       |   |           |   |
| 21 |   | 18                                                                                                       | 497   | 16,6  | 16,0        | 0,557             | 0,311                 |                                                                                       |   |           |   |
| 22 |   | 19                                                                                                       | 500   | 17,8  | 16,1        | 1,709             | 2,920                 |                                                                                       |   |           |   |
| 23 |   | 20                                                                                                       | 506   | 15,2  | 16,2        | -0,989            | 0,978                 |                                                                                       |   |           |   |
| 24 |   | 21                                                                                                       | 512   | 15,4  | 16,3        | -0,886            | 0,785                 |                                                                                       |   |           |   |
| 25 |   | 22                                                                                                       | 516   | 16,6  | 16,4        | 0,249             | 0,062                 |                                                                                       |   |           |   |
| 26 |   | 23                                                                                                       | 522   | 16,4  | 16,4        | -0,049            | 0,002                 |                                                                                       |   |           |   |
| 27 |   | 24                                                                                                       | 526   | 16,4  | 16,5        | -0,114            | 0,013                 |                                                                                       |   |           |   |
| 28 |   | 25                                                                                                       | 532   | 17,5  | 16,6        | 0,889             | 0,790                 |                                                                                       |   |           |   |
| 29 |   | 26                                                                                                       | 533   | 17,2  | 16,6        | 0,573             | 0,328                 |                                                                                       |   |           |   |
| 30 |   | 27                                                                                                       | 536   | 16,9  | 16,7        | 0,224             | 0,050                 |                                                                                       |   |           |   |
| 31 |   | 28                                                                                                       | 539   | 15,4  | 16,7        | -1,325            | 1,755                 |                                                                                       |   |           |   |
| 32 |   | 29                                                                                                       | 560   | 17,5  | 17,1        | 0,434             | 0,189                 |                                                                                       |   |           |   |
| 33 |   | 30                                                                                                       | 562   | 16,5  | 17,1        | -0,598            | 0,358                 |                                                                                       |   |           |   |
| 34 |   | $\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - (b_0 + b_1 \cdot X_i))^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 =$ |       |       |             |                   |                       | 10,490                                                                                |   |           |   |
| 35 |   |                                                                                                          |       |       |             |                   |                       |                                                                                       |   |           |   |
| 36 |   |                                                                                                          |       |       |             |                   |                       |                                                                                       |   |           |   |

Фиг. 6.Резултати от изчисленията

Индикация на успешното приключване на изчисленията е изведеното в отвореният прозорец "Solver Results" (фиг. 7) текстовото съобщения указващо, че е намерено оптимално решение, удовлетворяващо всички ограничения. За съхраняване

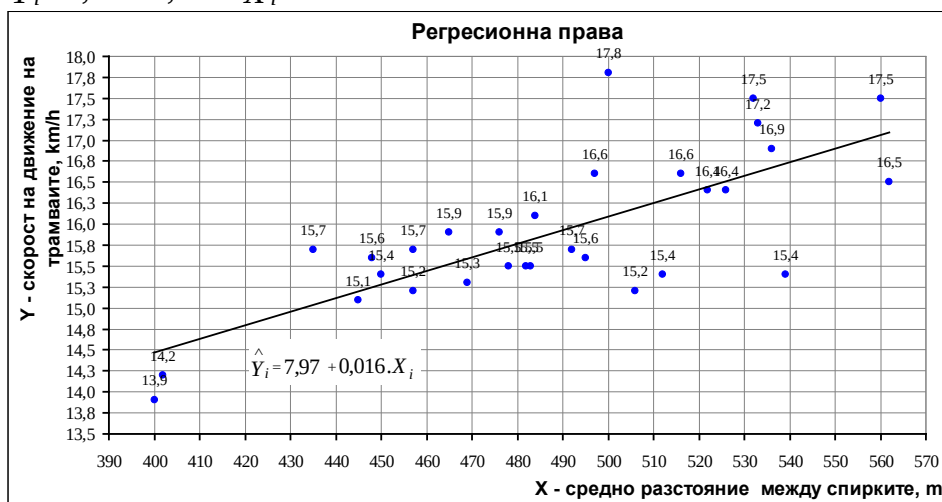
на решението се избира предложеният от Solver избор “Keep Solver Solution” и се натиска бутона “OK”.



Фиг. 7.Прозорец ”Solver Results”

За онагледяване на крайните резултати, на построената на фиг. 8 диаграма са показани емпиричните (наблюдаваните) стойности и регресионната права, на която лежат теоретичните (предвидените) стойности, описваща се от полученото след заместване на изчислените коефициенти  $b_0$  и  $b_1$  линейно еднофакторно уравнение на регресия, имащо следния запис:

(6) 
$$\hat{Y}_i = 7,97 + 0,016 \cdot X_i$$



Фиг. 8.”Регресионна права и регресионно уравнение”

#### 4. Резултати и дискусия.

Получените от решението на задачата, чрез използване на *MS Excel Solver* резултати показват, че:

1. Евентуалното увеличаване/намаляване на средното разстояние между спирките с  $1\text{ m}$  ще доведе до увеличаване/намаляване на скоростта на движение на превозните средства на трамвайния транспорт средно с  $0,016\text{ km/h}$ .

2. При нулево разстояние между спирките скоростта на движение ще е равна на  $7,97\text{ km/h}$ , което означава, че наличието на свободен член прави избраният линейен регресионен модел неподходящ за моделиране на връзката между скоростта на движение на трамваите и средното разстояние между спирките.

3. Потвърждение на горното е и факта, че построената регресионна права(фиг. 8) не се вписва добре в емпиричните точки, от което може да се направи предположение, че връзката между променливите  $Y$  и  $X$  не е силна, или ако е силна, избраното линейно регресионно уравнение не я описва адекватно.

4. За извършване на по-точна апроксимация вероятно е необходимо да се извършат повече на брой наблюдения за значенията на променливите  $Y$  и  $X$ , както и да се избере и тества друг вид регресионен модел - нелинеен еднофакторен или линеен (или нелинеен) многофакторен модел, тъй като освен от разстоянието между спирките, е възможно скоростта на движение да се влияе и от други неотчетени от модела фактори.

## 5. Заключение.

Резултатите от примерното приложение на функционалност *MS Excel Solver* дават основание да се направят следните основни изводи:

1. Практическото приложение на съществуващите софтуерни програмни средства – специализирани или с общо предназначение, заедно с вградените в тях функционалности – представляват алтернатива на познатите до момента ръчни способи за извършване изчисления и анализи в научните изследвания.

2. Използването на електронните таблици *MS Excel* и на добавъчния към него инструмент *MS Excel Solver*, като средство за извършване на математически изчисления и решаване на оптимизационни задачи, се характеризира със следните предимства и особености:

- тъй като *MS Excel Solver* е допълнителен компонент към едно от най-широкоразпространените и използвани от потребителите офис приложения *MS Excel*, то същият е леснодостъпен;

- удобно и лесно се работи със *Solver*, което го прави подходящ не само за използване от инженери, математици, икономисти и изследователи в провежданите от тях изследвания, но и от студенти за учебни цели;

- инструментът *Solver* позволява със сравнително малко усилия да се дефинират и решават разнообразни по вид и сложност задачи;

- в зависимост от начално присвоените стойности в клетки J4 и J5 (в случая клетките в табл. 3, съдържащи стойностите на регресионните коефициенти) и предварително зададения брой на извършваните от *Solver* итерации, е възможно изчислените коефициенти незначително да се различават по стойност от същите, но получени в резултат от използване на други изчислителни програми.

Разбира се, чрез описания в настоящата публикация пример не се изчерпват възможностите за използване на *Solver* и съществуващите методи за изчисляване на стойностите на регресионните коефициенти.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Качаунов, Т. Т., “Моделиране и оптимизация на транспортните процеси”, второ преработено издание, Печатница при ВТУ “Тодор Каблешков”, София, 2005 г.
- [2] Манов, А., “Статистика със SPSS”, второ издание, Издателство “Тракия – М”, София, 2001 г.
- [3] Рихтер, К. Ю., Фишер, П., Шнейдер, Г., “Статистические методы в транспортных исследованиях”, превод от немски, Москва, “Транспорт”, 1982 г.
- [4] Microsoft Excel 2003 Help, Microsoft Corporation