

## МАТЕМАТИЧНИ МОДЕЛИ С ПОДОБРЕНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ В СИСТЕМИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА РОТОРНИТЕ БАГЕРИ

**Диана Ташева**

Минно-геоложки университет  
"Св. Иван Рилски"  
София 1700, България  
E-mail : iliev @ mgu.bg

**Здравко Илиев**

Минно-геоложки университет  
"Св. Иван Рилски"  
София 1700, България  
E-mail : iliev @ mgu.bg

### РЕЗЮМЕ

При определяне параметрите на основните работни движения в системите за програмно управление на роторните багери, се използват сложни математични зависимости, изискващи изчисляване на прави и обратни тригонометрични функции. Минимизация на изчислителните операции може да бъде извършена чрез използване на математични модели. Основен проблем при търсенето им се явява обстоятелството, че изходната информация се получава чрез сканиране с постоянна стъпка. В резултат се появява мултиколинеарност, което води до намиране на коефициенти, силно различаващи се по порядък. Това затруднява програмната реализация, намалява надеждността на проверката за адекватност на модела и влошава точността на предсказание.

В статията се представят резултатите от прилагането на три подхода за намиране на модели с подобрени характеристики – нормализация на факторите, стандартизация на регресорите и използване на ридж-регресионен анализ.

### ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

Работата на роторните багери е свързана с изпълнение на циклична последователност от движения. Програмното им управление се извършва на базата на предварително фиксирани координатни опорни точки в пространството на забоя. Това позволява параметрите на движенията да бъдат определени с помощта на математични зависимости.

Използването на аналитично изведени изрази (Илиев, 2001; Илиев 2002) е свързано с многократно изчисляване на радикали и множество прави и обратни тригонометрични функции, което не позволява да бъдат изпълнени изискванията за бързодействие. Това налага търсенето на

други подходи за моделиране, чрез които параметрите на основните работни движения да се определят със задоволителна за практиката точност, при минимален брой изчислителни операции.

Едно добро решение, предложено от Илиев (2002), е намирането на регресионни модели, оценени чрез метода на най-малките квадрати (МНК). Използването им не само позволява изграждане на унифицирани алгоритми за програмно управление, инвариантни по отношение на кинематичните особености на багерите, но и води до многократно намаляване на необходимия брой изчислителни операции (Таблица 1).

Таблица 1

Характерна особеност на получените математични описания е широкият диапазон на изменение на коефициентите в уравненията на регресия. Обичайно явление е да бъдат намирани коефициенти по-малки от  $10^{-5}$ , които не могат да бъдат приети за незначими, тъй като отхвърлянето им води до съществено влошаване на предсказващите свойства на моделите. Друг проблем се явява факта, че оценките на коефициентите се търсят с помощта на изчислителна техника и в програмна среда, съществено различаващи се от тези, реално използвани в системите за автоматизация. Например MATLAB оперира с числа, представени с 16 значещи цифри и порядък  $10^{\pm 308}$ . Практически нереализуемо е в системите за програмно управление, регресионните коефициенти да се задават в този вид. Но опитът показва, че намаляването на броя на цифрите, използвани при представянето им, води до значително влошаване на точността на предсказание. Това налага прилагане на други подходи за моделиране на основните работни движения на роторните багери, чрез които да се постигне намаляване на диапазона на изменение на коефициентите и чувствителността към промяната на броя на цифрите с които са представени, при запазване на предсказващите свойства на моделите.

#### ПОДХОДИ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА МАТЕМАТИЧНИТЕ ОПИСАНИЯ НА ОСНОВНИТЕ РАБОТНИ ДВИЖЕНИЯ НА РОТОРНИТЕ БАГЕРИ

Търсенето на математични модели, описващи основните работни движения на роторните багери, е свързано със следните особености:

- несиметричност на факторното пространство, в резултат на съществено различаващия се диапазон на изменение на факторите;

- наличие на корелация между стълбовете на разширената матрица на плана на експеримента  $F$ , предизвикана от начина на формиране на входните данни.

Това налага използването на специфични подходи за обработка на информацията.

#### Работа с нормирани променливи.

Входните данни за оценка на моделите, описващи основните работни движения на роторните багери, се получават чрез сканиране с постоянна стъпка. В резултат се появяват значими корелации от типа  $r(x_i, x_i^2)$ ,  $r(x_i, x_j x_j)$ ,  $r(x_i x_j, x_i^2)$ ,  $r(x_i, x_i^3)$ , въпреки, че факторите  $x_i$  и  $x_j$  са независими. Това предизвиква лоша обусловеност на информационната матрица  $G = F^T F$  и води до проблеми при използване на метода на най-малките квадрати, разгледани от Вучков и Бояджиева (1987).

В този случай е полезно преди търсенето на регресионните коефициенти да се извърши центриране и нормиране на факторите. Този подход е изследван и пропагандиран от D. Marquardt (1980):

$$\delta x_{i,j} = \frac{x_{i,j} - \bar{x}_i}{\bar{x}_i - \min_j x_{i,j}}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, N \quad (1)$$

където  $m$  е броят на факторите,  $N$  – броят опити, а

$$\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{i,j} .$$

Тъй като  $\overset{\circ}{X}$  е с нулево математическо очакване, теоретичните коефициенти на корелация също стават равни на нула. На практика те са малки числа и матрицата  $G$  в общия случай е добре обусловена.

### Стандартизиране на регресорите.

Този подход се използва, когато факторите имат различен физически смисъл и размерност, какъвто е и случаят при моделиране на работните движения на роторните багери.

Стойностите на стандартизираните регресори се определят по зависимостта:

$$\overset{\circ}{f}_{ji-1} = \frac{f_{ji} - \bar{f}_i}{\sqrt{\sum_{u=1}^N (f_{ui} - \bar{f}_i)^2}}, \quad i = 2, \dots, k, \quad j = 1, \dots, N, \quad (2)$$

където  $\bar{f}_i$  е средноаритметичната стойност на  $i$ -тия стълб на  $F$ , а  $k$  – броя на оценяваните коефициенти.

Моделът се търси по метода на най-малките квадрати, като се използва стандартизираната информационна матрица.

### Регуляризация

За първи път регуляризационни методи са предложени от Тихонов (1979). Те са ефективно средство за оценка на модели при наличие на мултиколинеарност (линейна зависимост между стълбовете на разширената матрица на плана на експеримента). Obenchain (1997) на база на извършения от него сравнителен анализ, е доказал, че най-разпространения и най-често използвания метод от тази група е ридж-регресията, при който оценките на коефициентите се определят по зависимостта:

$$\bar{B}_p = (F^T F + P)^{-1} F^T Y, \quad (3)$$

където  $Y$  е вектор-стълб с данните за изхода, а  $P$  е положително определена матрица с размерност  $(k \times k)$ . Най-често  $P$  има вида  $P = pE$ , където  $E$  е единична матрица, а  $p$  представлява параметър на регуляризация.

Noerl и Kennard (2000) са доказали, че при задачи с мултиколинеарност е възможно да се намери стойност  $p^*$ , при която оценките  $\bar{B}_p$ , макар и изместени, са много по-близки до теоретичните коефициенти  $\bar{\beta}$  в сравнение с тези, получени при използване на класическия метод на най-малките квадрати.

Таблица 2а/

Основен проблем при приложение на ридж-регресията е намирането на оптималната стойност  $p^*$ . Изборът на параметър за регуляризация не може да стане еднозначно, тъй като изместеността на оценките  $\bar{B}_p$  и обобщената средноквадратична грешка зависят от неизвестните теоретични коефициенти на регресия  $\bar{\beta}$ . Затова са предложени голям брой критерии за оптималност. За намирането на математическото описание на основните работни движения на роторните багери е използван детерминиран критерий на Vinod при който  $p^*$  се определя от условието за минимум на функцията:

$$Q = \sum_{i=1}^{k-1} \left( \frac{(k-1)\delta_i^2}{\lambda_i \theta} - 1 \right)^2, \quad (4)$$

$$\text{където } \delta_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + p}, \text{ а } \theta = \sum_{i=1}^m \frac{\lambda_i}{(\lambda_i + p)^2}.$$

С  $\lambda_i$ ,  $i = 1, \dots, k-1$  са означени собствените числа на стандартизираната информационна матрица  $\overset{\circ}{G}$ .

Според автора, намерените с използване на този критерий ридж-оценки, са най-близки до тези, които биха се получили при ортогонална матрица на плана на експеримента.

## РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

Разгледаните подходи за намиране на модели с подобрени характеристики са реализирани програмно в средата на MATLAB. Те са приложени за оценка на коефициентите в полиноми, предназначени за определяне на максималната дълбочина на блока  $T_b$  при работа с роторни багери Rs 1200 и максималното съотношение между дебелината и широчината на стружката  $i_{max}$  при багери с неизнасяща се стрела.

Чрез разработените програми са получени и изследвани модели от 1-ви, 2-ри и 3-ти ред, като търсенето е извършено по класическия метод на най-малките квадрати и с използване на предложените в раздел II подходи.

Намерените коефициенти в регресионните уравнения, описващи съответно  $T_b$  като функция от ъгъла на наклон на роторната стрела и положението на механизма за изнасяне, и  $i_{max}$  в зависимост от височината на слоя и зададената производителност, са представени в таблици 2а/ и 2б/.



Таблица 26/

За да се оцени приложимостта на получените модели в системите за програмно управление на роторните багери, е изследвано влиянието на максималния брой цифри, с които се представят коефициентите в модела, върху точността на предсказание. За целта, при различна степен на закръгляване, са определени предсказаните по модела стойности на изследвания параметър  $\hat{y}_i, i = 1, \dots, N$  и са изчислени:

- остатъчните суми на квадратите  $Q_{ocm} = \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2$ ;
- максималната абсолютна грешка от предсказание  $\Delta_{max} = \max_i |y_i - \hat{y}_i|$ .

Таблица 3а/

Получените резултати са представени в таблици 3а/÷3г/. В първата им колона е посочен типа на модела и граничния брой цифри (3, 4 или 5), с които са представени коефициентите.

Анализът на характеристиките на моделите, намерени при използване на различните подходи, позволява да се направят следните изводи:

1. Най-значимо различие в порядъка на намерените коефициенти се получава при използване на метода на най-малките квадрати, като ефектът се засилва с увеличаване на реда на модела.

Таблица 3б/

Таблица 3в/

Таблица 3г/



2. Използваният подход за оценка на регресионните модели практически не влияе върху максималната абсолютна грешка и остатъчната сума от квадратите.
3. При линейни модели най-добри резултати се получават при работа с центрирани фактори, а при кубична регресия, поради изразената мултиколинеарност, предпочитание би следвало да се отдаде на ридж-регресионния анализ.
4. Във всички случаи намаляването на броя на цифрите, с които се представят коефициентите в моделите, намерени чрез метода на най-малките квадрати, води до недопустимо увеличаване както на  $Q_{ост}$ , така и на  $\Delta_{max}$ . Тази тенденция се засилва с нарастване на реда на модела.
5. Промяната на цифрите в представянето на коефициентите в моделите, намерени чрез използване на описаните в II подходи, на практика не води до промяна в предсказващите свойства на моделите.

Всички проведени изследвания показват, че използването на ридж-регресионния анализ или стандартизиране на фактори или регресори, води до намиране на модели, описващи основните параметри на работа на роторните багери, които са с подобрени характеристики в сравнение с тези получени чрез метода на най-малките квадрати. Те могат успешно да се използват в системите за програмно

управление, без да налагат високи изисквания по отношение на хардуера на управляващата система.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Вучков И.Н., Л. Бояджиева, Е. Солаков. 1987, Прикладной линейный регрессионный анализ., Москва, Финансы и статистика.
- Илиев З. А., 2002, Определяне параметрите на работните движения при роторните багери с помощта на математични модели, *Международна конференция "Автоматика и информатика '02", Сборник доклади том 1* (бълг., резюме на англ.), 237 – 240.
- Илиев З. А., 2001, Метод за оптимизиране параметрите на стружката при роторен багер SRs 2000, *Международна научна сесия "Управление на природни и техногенни рискове", Сборник доклади* (бълг., резюме на англ.), 317-319.
- Тихонов А. Н., В. Арсенин., 1979, Методы решения некорректной задач., Москва, Наука.
- Hoerl, A. E., R. W. Kennard., 2000, Ridge Regression Biased Estimation for Nonorthogonal Problems., *Technometrics*, Vol 42, No. 4, 80-87.
- Obenchain, R. L., 1997, Shrinkage Regression: Ridge, BLUP, Bayes and Stein, *Technometrics*, Vol 39.
- Marquardt D., 1980, You should standardize the predictor variables in your regression models. *J. Amer. Stat. Assoc.*, V 75, pp 87-91.

*Препоръчана за публикуване от  
катедра " ", МЕМФ*

## MATHEMATICAL MODELS WITH IMPROVED CHARACTERISTICS IN THE CONTROL SYSTEMS OF WHEEL EXCAVATORS

**Diana Tasheva**

University of Mining and Geology  
St Ivan Rilski  
Sofia 1700, Bulgaria  
E-mail: [iliev@mgu.bg](mailto:iliev@mgu.bg)

**Zdravko Iliev**

University of Mining and Geology  
St Ivan Rilski  
Sofia 1700, Bulgaria  
E-mail: [iliev@mgu.bg](mailto:iliev@mgu.bg)

### ABSTRACT

Determining the parameters of main working motions in the systems for programmed control of wheel excavators utilizes complex mathematical relationships requiring calculation of direct and inverse trigonometric functions. The minimization of computing operations may be achieved by using mathematical models. A basic problem in searching for such models consists in the circumstance that the initial information is acquired through constant-step scanning. This results in the occurrence of multicollinearity, which leads to finding coefficients of strongly differing orders. This impedes the program realization, decreases the reliability in verifying the model adequacy, and worsens the accuracy of forecasting.

In this article the results of applying three approaches to finding models with improved characteristics, namely those of factor normalization, regressor standardization and use of ridge-regression analysis, are presented.

### FORMULATION OF THE PROBLEM

The wheel excavator work is connected with performing a cyclic sequence of motions. Their programmed control is performed on the basis of preset reference coordinate points within the face space. This allows determining the motion parameters with the aid of mathematical relationships.

The use of analytically derived expressions (Iliev, 2001; Iliev 2002) is connected with multifold calculation of radicals and multiple direct and inverse trigonometric functions, which does not allow meeting the requirements for fast response. For this

reason it is necessary to seek other approaches to modelling in order to determine the parameters of main working motions with virtually satisfactory accuracy by carrying out a minimum number of computing operations.

A good solution proposed by Iliev (2002) consists in finding regression models estimated by the method of least squares (LSM). Using these methods not only permits building unified algorithms for programmed control that are invariant with respect to the excavator kinematic specificities, but also leads to a multifold increase in the required number of computing operations (see Table 1).

Table 1

A characteristic feature of the mathematical description obtained is the wide range of varying the coefficients in regression equations. It is a normal phenomenon to find coefficients lesser than  $10^{-5}$  that cannot be assumed insignificant as their rejection will lead to considerable worsening of the models forecasting properties. Another problem is connected with the fact that the coefficient estimates are sought with the aid of computers and in a programming environment that differs considerably from those used in real industrial control systems. For instance, MATLAB operates with numbers represented by 16 significant digits and an order of  $10^{\pm 308}$ . Presetting the regression coefficients in such a form is virtually unrealizable for programmed control systems. However, the experience gained shows that the diminishment of the number of digits used for representing these coefficients leads to essential worsening of forecasting accuracy. This requires the application of other approaches to modelling the main working motions of wheel excavators, through which a smaller coefficient variation range will be provided and the sensitivity to changes in the number of digits representing the coefficients will be lessened in order to preserve the forecasting properties of models.

#### APPROACHES TO IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF MATHEMATICAL DESCRIPTIONS OF THE MAIN WORKING MOTIONS OF WHEEL EXCAVATORS

The search for mathematical models describing the main working motions of wheel excavators is connected with the following specificities:

- An asymmetry of the factor space as a result of the essential differences in factor variation ranges;
- A presence of correlation between the columns of the augmented matrix from the experimental plan  $F$ , which is caused by the way of forming the input data.

This imposes the use of specific approaches to the information processing.

#### Working with normalized variables.

Input data for estimating the models that describe the main working motions of wheel excavators are obtained by scanning with a constant step. As a result there emerge significant correlations of the type  $r(x_i, x_i^2)$ ,  $r(x_i, x_i x_j)$ ,  $r(x_i x_j, x_i^2)$ ,  $r(x_i, x_i^3)$ , although the factors  $x_i$  and  $x_j$  are independent. This is the cause for bad conditionality of the information matrix  $G = F^T F$ , and leads to problems in using the least-squares method, discussed by Vuchkov and Boyadjieva (1987).

In this case it is useful to perform factor centering and normalizing before proceeding with the search for regression coefficients. This approach was investigated and promoted by D. Marquardt (1980):

$$x_{i,j}^0 = \frac{x_{i,j} - \bar{x}_i}{\bar{x}_i - \min_j x_{i,j}}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, N \quad (1)$$

where  $m$  is the number of factors,  $N$  the number of experiments, and  $\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{i,j}$ .

As  $x^0$  has a zero mathematical expectation, the theoretical correlation coefficients also become equal to zero. Actually, they are small numbers and in the general case matrix  $G$  is well stipulated.

#### Standardization of regressors.

This approach finds application when the factors have diverse physical senses and dimensions, as it is also the case of modelling the working motions of wheel excavators..

The values of standardized regressors are determined in accordance with the relationship:

$$\overset{\circ}{f}_{ji-1} = \frac{f_{ji} - \bar{f}_i}{\sqrt{\sum_{u=1}^N (f_{ui} - \bar{f}_i)^2}}, \quad i = 2, \dots, k, \quad j = 1, \dots, N, \quad (2)$$

where  $\bar{f}_i$  is the arithmetic mean value of the  $i^{\text{th}}$  column of  $F$ , and  $k$  the number of estimated coefficients.

The model is sought by applying the least-squares method, using the standardized information matrix.

### Regularization

For the first time the regularization methods were proposed by Tikhonov (1979). They are an efficient means for estimating the models as regards the presence of multicollinearity (linear relationship between columns in the augmented matrix of the experimental plan). Obenchain (1997) demonstrated on the basis of the comparative analysis he had carried out that the most widespread and most frequently used method of this group is the ridge-regression analysis, in which the coefficient estimates are determined by the relation:

$$\bar{B}_p = (F^T F + P)^{-1} F^T Y, \quad (3)$$

where  $Y$  is a column-vector with the output data, and  $P$  is a positive definite matrix with dimension  $(k \times k)$ . Most frequently  $P$  is in the form  $P = pE$ , where  $E$  is a unit matrix, and  $p$  represents parameter regularization.

Hoerl and Kennard (2000) have shown that for the problems with multicollinearity it is possible to find a value  $p^*$ , for which the estimates  $\bar{B}_p$ , although displaced, are much closer to the theoretical coefficients in comparison to those obtained by using the classical least-squares method.

A basic problem of the application of ridge-regression analysis consists in finding the optimal value  $p^*$ . Selecting the parameter for regularization cannot be done uniquely because the degree of displacement of estimates  $\bar{B}_p$  and the generalized root-mean-square error depend on the unknown

theoretical regression coefficients  $\bar{\beta}$ . For this reason a large number of optimality criteria are proposed.

The determined criterion of Vinod is used for finding mathematical description of the main working motions of wheel excavators. For this criterion  $p^*$  is found from the condition for minimum of the function:

$$Q = \sum_{i=1}^{k-1} \left( \frac{(k-1)\delta_i^2}{\lambda_i \theta} - 1 \right)^2, \quad (4)$$

$$\text{where } \delta_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + p}, \quad \text{and } \theta = \sum_{i=1}^m \frac{\lambda_i}{(\lambda_i + p)^2}.$$

The eigen-values of standardized information matrix  $\overset{\circ}{G}$  are designated by  $\lambda_i$ ,  $i = 1, \dots, k-1$ .

According to the author the ridge-estimates found by using this criterion are the closest to those that would be obtained for an orthogonal matrix of the experimental plan.

## RESULTS AND CONCLUSIONS

The considered approaches to finding models with improved characteristics have been realized by programming in MATLAB environment. They have been applied to estimating the coefficients in polynomials intended for determining the maximal depth of the block  $T_b$  in working with wheel excavators Rs 2000 and the maximal ratio between the thickness and width of the cut sickle  $i_{max}$  for excavators with fixed boom.

The programs developed have allowed to obtain and examine models of 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> orders, the search having been accomplished through the classical least-squares method as well as by using the approaches proposed in Section II.

The coefficients found in regression equations that describe, respectively,  $T_b$  as a function of the inclination angle of the wheel boom and the position of the taking-out mechanism, and  $i_{max}$  as a function of the layer height and the preset productivity are shown in Tables 2a/ and 2b/.

Table 2a/

Table 2b/



The impact of the maximal number of digits representing the model coefficients upon the accuracy of forecasting has been examined with the purpose of evaluating the applicability of models obtained to systems for programmed control of wheel excavators. That is why, using diverse degrees of rounding, the model-forecast values of the parameter examined  $\hat{y}_i, i = 1, \dots, N$  have been determined, and:

- the residual sums of the squares  $Q_o = \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2$   
and
- the maximal absolute error from forecasting  
 $\Delta_{max} = \max_i |y_i - \hat{y}_i|$

Table 3a/

have been calculated.

The results obtained are shown in Tables 3a/ ÷ 3d/. Their first columns contain the type of the model and the boundary number of digits (3, 4 or 5) by which the coefficients are being represented.

Analyzing the characteristics of models found by using diverse approaches allows making the following conclusions:

6. The most significant difference in the orders of coefficients found is obtained when using the least-squares method; this effect becoming stronger with the increase in the order of the model.

Table 3b/



Table 3c/

Table 3d/

7. The approach used for estimating regression models exerts virtually no effect on the maximal absolute error and the value of the residual sum of the squares.
8. For the linear models the best results are obtained when working with centered factors, but for cubic regression the ridge-regression analysis should be preferred because of the pronounced multicollinearity.
9. In all cases decreasing the number of digits used for the presentation of coefficients in the models found by the least-squares method leads to an inadmissible increase not only in  $Q_o$ , but also in  $\Delta_{max}$ . This tendency becomes stronger with increasing the order of the model.
10. Modifying the number of digits in the presentation of coefficients found by using the approaches described in Section II does not lead virtually to any change in the forecasting properties of models.

All the investigations performed have shown that the use of ridge-regression analysis or standardization of factors or regressors leads to finding such models describing the basic working parameters of wheel excavators, which have improved characteristics in comparison with those obtained through the least-squares method. They can be successfully used in the systems for programmed control without any need of imposing special requirements regarding the control system hardware.

## REFERENCES

- Вучков И.Н., Л. Бояджиева, Е. Солаков. 1987, Прикладной линейный регрессионный анализ., Москва, Финансы и статистика.
- Илиев З. А., 2002, Определяне параметрите на работните движения при роторните багери с помощта на математични модели, *Международна конференция "Автоматика и информатика '02", Сборник доклади том 1* (бълг., резюме на англ.), 237 – 240.
- Илиев З. А., 2001, Метод за оптимизиране параметрите на стружката при роторен багер SRs 2000, *Международна научна сесия "Управление на природни и техногенни рискове"*, Сборник доклади (бълг., резюме на англ.), 317-319.
- Тихонов А. Н., В. Арсенин., 1979, Методы решения некорректной задач., Москва, Наука.
- Hoerl, A. E., R. W. Kennard., 2000, Ridge Regression Biased Estimation for Nonorthogonal Problems., *Technometrics*, Vol 42, No. 4, 80-87.
- Obenchain, R. L., 1997, Shrinkage Regression: Ridge, BLUP, Bayes and Stein, *Technometrics*, Vol 39.
- Marquardt D., 1980, You should standardize the predictor variables in your regression models. *J. Amer. Stat. Assoc.*, V 75, pp 87-91.

*Recommended for publication by Department of  
Mine Automation, Faculty of Mining Electromechanics*