

## СХЕМА И ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА ЗА АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА КОМПРЕСОРНА СТАНЦИЯ В КАРИЕРА "ПЪРВИ МАЙ" – "МРАМОР - ГРАНИТ" – АД

**Нели Стефанова**

Минно-геоложки университет  
"Св. Иван Рилски"  
София 1700, България

**Ангел Зъбчев**

Минно-геоложки университет  
"Св. Иван Рилски"  
София 1700, България

**Матей Матеев**

Минно-геоложки университет  
"Св. Иван Рилски"  
София 1700, България

### РЕЗЮМЕ

Статията третира средствата за автоматизирано управление на компресорна станция, работеща в условията на "Мрамор и гранит" – АД.

Доскоро в кариерата "Първи май" на "Мрамор-Гранит" АД (която се намира в западните склонове на Витоша), се е осъществявал широкомащабен добив на гранитни блокове, които са били транспортирани за последваща обработка (нарязване на плочи и шлифование на същите) в каменорезния и шлифовъчния цехове на дружеството, изградени в с. Владая, Софийско.

На територията на самата кариера са се произвеждали значителни количества павета, ломен камък и елементи за гранитни облицовки.

За осъществяването на разкривните, а частично – и на добивните работи са се провеждали пробивно-взривни работи, а за отделянето от масива на гранитни блокове със зададени (стандартни) размери – пробивни работи, осигуряващи използването на хидроцепители.

Кариерата е имала няколко добивни участъка, собствена електрическа подстанция и развито пневматично стопанство, включващо компресорна станция, въздухопроводна мрежа с дължина 2-3 km и консуматори на съгъстен въздух (пробивни и къртачни чукове, преси за насичане на павета, клепачна машина за работния инструмент).

Първоначално компресорната станция е била съоръжена с пет броя двустъпални бутални компресори, тип "Борец 10/8", които чрез колекторна тръба са подавали съгъстения от тях въздух в общ, снабден с предпазен клапан въздушен резервоар.

Задвижването на всеки компресор се състои от трифазен асинхронен двигател, с нахъсо съединен ротор, тип AM-92-6 (с мощност 75kW с честота на въртене 950 min<sup>-1</sup> и напрежение 380 V) и клиноремъчна предавка.

Охлаждането на компресорите е осигурено от общ воден резервоар, по отворена (проточна) схема като движението на течността е гравитационно. Ръчното управление на двигателите (пускане и спиране) и защитата им срещу претоварване са се осъществявали от автоматични, маслонапълнени пускатели "звезда/триъгълник", тип АПМЗТ-500/200.

Участието на входните, междинните и изпълнителните елементи на пускателя в силовата и оперативните му вериги е показано съответно на фиг. 1а и фиг. 1б.

Принципно, основната комплекция на двигател-компресорния агрегат е показана на фиг. 2.

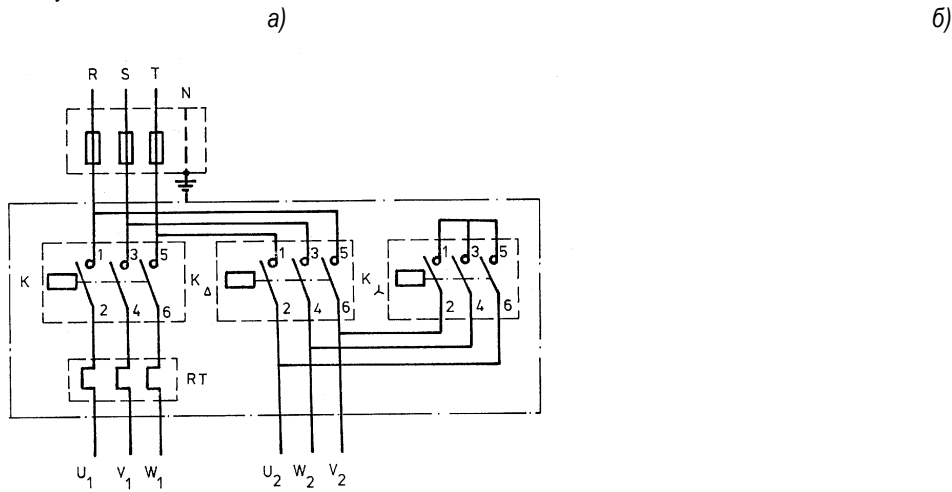
Ръчното пускане на всеки компресор се осъществява както следва:

А) при нулево свръхналягане на въздуха в резервоара (т.е. след продължителна пауза в работата на консуматорите на пневматична енергия или след преднамерено изпускане на съгъстения въздух в атмосферата през крановете  $K_2$  и  $K_1$ ) пусковият процес на ел.двигателя протича при затворен кран  $K_1$  и отворен  $K_2$ ;

Б) при наличието на високо (т.е. близко до работното) налягане на въздуха в резервоара, пусковият процес на двигателя се предшества от затваряне на крана  $K_2$  и от отваряне на  $K_1$ , а след завършването му едновременно трябва да започне затваряне на крана  $K_1$  и отварянето на  $K_2$ .

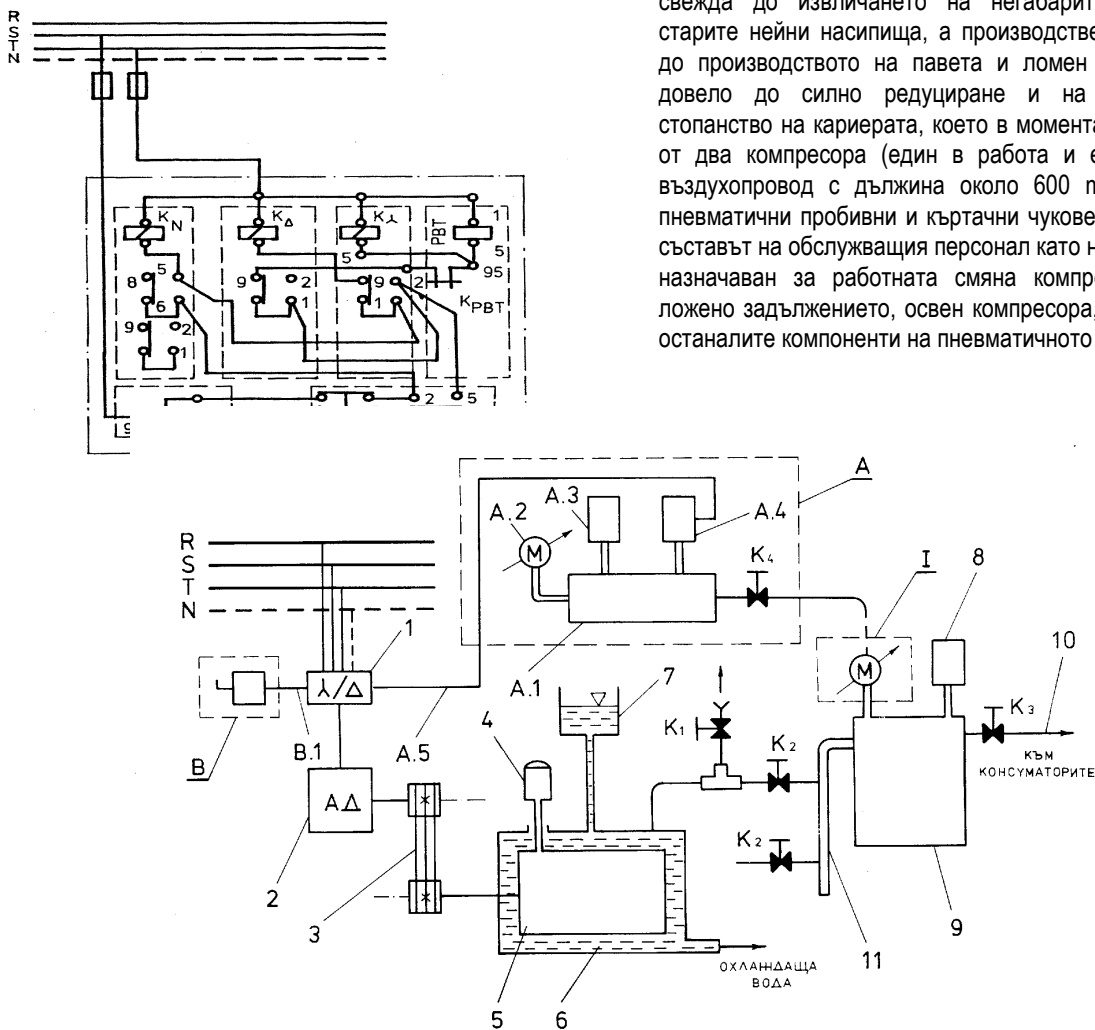
Обикновено компресорите са работили непрекъснато през цялата смяна, а голямата консумация на съгъстен въздух и възможността за оперативно изменение броят на използваните компресори са предотвратявали задействането на предпазителния клапан 8 (настроен на гранично налягане от 0,65 MN/m<sup>2</sup>) както и – възникването на свързаните с това нежелани загуби на пневматична енергия.

От няколко години кариера "Първи май" попада в разширените граници на "Национален парк Витоша" и това силно затруднява добивната и производствената дейности, тъй като провеждането на взривни работи вече е недопустимо.



Фигура 1

На настоящия етап добивната дейност на кариерата се свежда до извличането на негабаритни блокове от старите нейни насипища, а производствената дейност – до производството на павета и ломен камък. Това е довело до силно редуциране и на пневматичното стопанство на кариерата, което в момента е представено от два компресора (един в работа и един в резерв), въздухопровод с дължина около 600 m и от няколко пневматични пробивни и къртачни чукове. Редуциран е и съставът на обслужващия персонал като на единствения, назначаван за работната смяна компресорист е възложено задължението, освен компресора, да поддържа и останалите компоненти на пневматичното стопанство.



Фигура 2. 1 - пускател АГМ-3Т-500V/200А; 2 - асинхронен двигател; 3 - клиноремъчна предавка; 4 - въздушен филтър; 5 – компресор; 6 – охладителна водна риза; 7 – воден резервоар; 8 – предпазен клапан; 9 –

въздухосборник; 10 – главен въздухопровод; 11 – колекторна тръба; А - измерително-командно пневматично устройство; А.1 - корпус-разпределител; А.2 – манометър; А.3 - предпазен клапан; А.4 - регулатор на налягане; В – превключвател на режимите; А.5 и В.1 - линии за предаване на командни електрически сигнали към пускателя 1; К<sub>2</sub>, К<sub>3</sub> и К<sub>4</sub> – ръчно управляеми спирателни кранове; I – манометър.

Опитът за намаляване разходът на ел. енергия за производството на състен въздух чрез скъсяване на времето за работа на компресора ( $t_k$ ) в рамките на работна смяна на три часа не е дало удовлетворителни резултати, тъй като при ограничения брой консуматори и сравнително голямата производителност на компресора (30 m<sup>3</sup>/min) дори малки изменения в броя на работещите къртачни чукове предизвикват задействане на предпазния клапан и изхвърляне на излишъка от състен въздух в атмосферата.

При това състояние на нещата, утежнявано и от непрекъснатия ръст на цените на ел. енергията в страната, ръководството на “Мрамор-Гранит” АД възложи на авторския колектив (чрез договор, сключен с НИС на МГУ “Св. Иван Рилски”) въвеждането на автоматизирано управление на компресорната станция на кариера “Първи май”.

Ограничените финансови възможности на дружеството, на настоящия етап, предопределиха осъществяването на частична (само по критерия “налягане на състения въздух”) автоматизация на управлението на компресора при максимално запазване на съществуващата комплектация на компресорната станция (ограничената цена на договора не позволяваше реконструиране на трансмисията с въвеждане на пускови съединители, респ. доставянето на обратни клапани или заменяне на крановете К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub> и К<sub>3</sub> с дистанционно управлявани такива, както и замяна на основната пускова ел. апаратура.

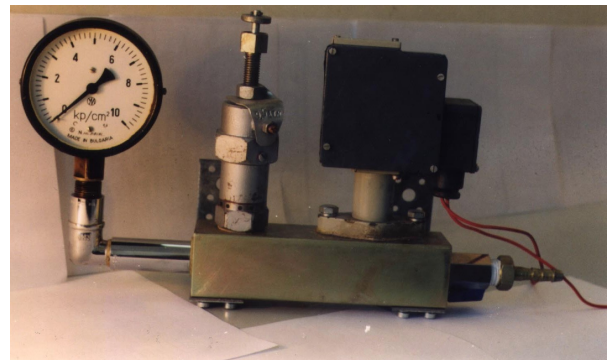
При това положение в комплектовката на двигател-компресорната група са направени следните промени (виж фиг. 2):

1. Премахнат е манометъра (поз. I, фиг. 2).
2. Въведени са два нови възела, подаващи командни електрически сигнали към АПМЗТ – 500/200:
  - Превключвател на режимите В (фиг. 2), състоящ се от междинно реле и двупозиционен пакетен ключ;
  - Измерително-командно пневматично устройство А (фиг. 2), състоящо се от корпус-разпределител А.1, манометър А.2, дублиращ предпазен клапан А.3, регулатор на налягане А.4 и спирателен кран К<sub>4</sub>.

Общият вид на възела А е показан на фиг. 3, а кинематичната схема на подвъзела А.4 (регулатор на налягането РН) е показана на фиг. 4. И двата подвъзела (т. е. А.3 и А.4) са компоненти от пневматичната спирателна система на немските промишлени локомотиви EL – 2, като първият подвъзел (А.3) е тариран и настроен в лабораторни условия за гранично налягане 0,67 MN/m<sup>2</sup>, така че в случай на отказ да дублира действието на основния предпазен

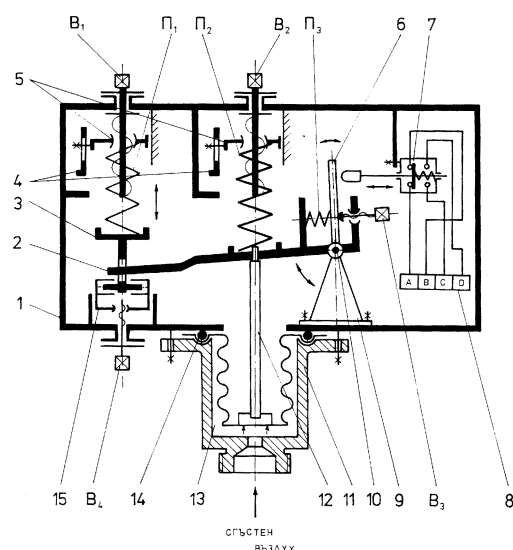
клапан 8. Вторият подвъзел (А.4) е подложен на реконструкция, която се изразява в замяна на пружината П<sub>1</sub> (виж фиг. 4) и пренастройване на регулировъчните винтове В<sub>1</sub> и В<sub>4</sub>, респективно на лявата опорна пластина 4, в резултат на което максималният обхват на превключване на РН е увеличен от 0,2 MN/m<sup>2</sup> на 0,4 MN/m<sup>2</sup>. Чрез регулировъчния винт В<sub>2</sub> и регулируемата дясна опорна пластина 4 в лабораторни условия е установена горна граница за задействане на РН, възлизаща на 0,6 MN/m<sup>2</sup> (РН допуска  $p_{max}=0,9 MN/m^2$ ).

Чрез проведени, в промишлени условия, пробни пускове на компресора, осъществени чрез наличния пускател АПМЗТ – 500/200, но при различни големина на свръхналягането във въздухосборника, бе установено, че горната граница на налягането при което пусковият процес все още завършва успешно е 0,35 MN/m<sup>2</sup>.



Фигура 3

Промените в оперативната верига на пускателя АПМЗТ – 500/200 и цялата електрическа схема за управление на компресора са показани на фиг. 5.

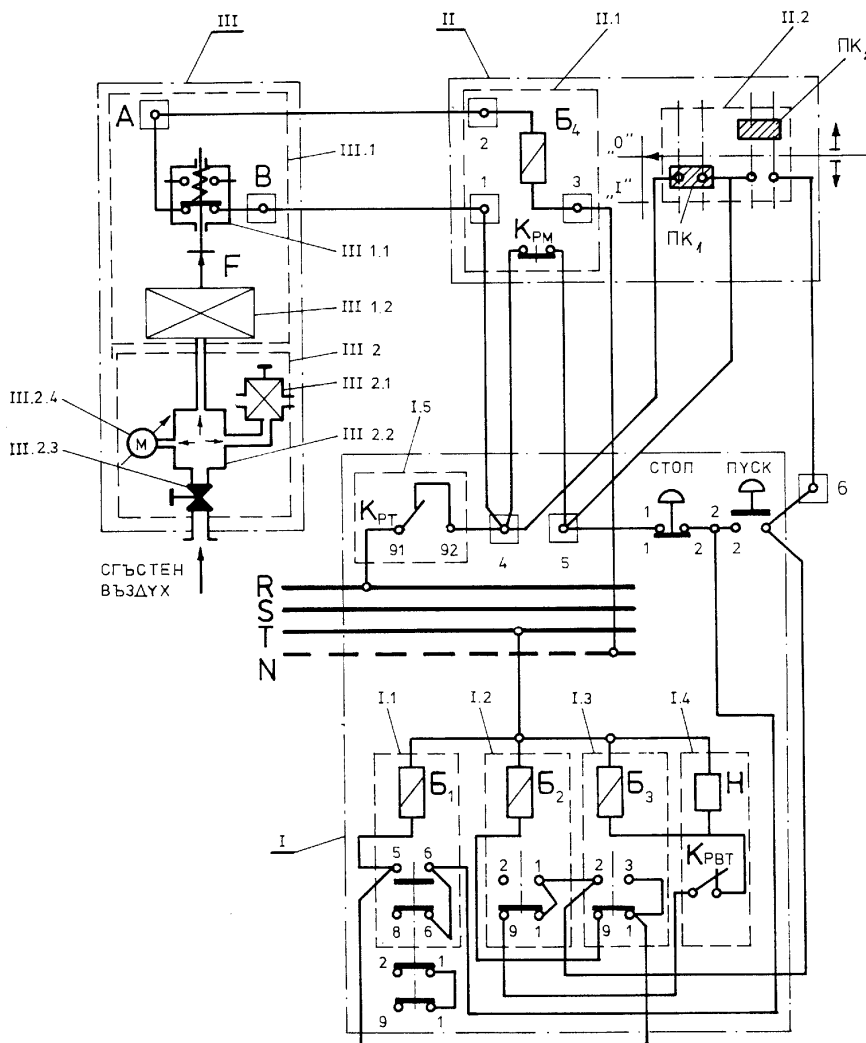


Фигура 4. 1 – корпус; 2 – рамка шарнирна; 3 – пета регулируема; 4 – опори регулируеми ограничителни; 5 – траверси подвижни натегателни; 6 – лост шарнирен; 7 – изключвател краен; 8 – клеморед; 9 – стойка

шарнирна; 10 – ос шарнирна; 11 – нипел-въвод за сгъстения въздух; 12 – стебло, предаващо натиска на сгъстения въздух към шарнирната рамка 2; 13 – гофрирана метална гилза; 14 – пръстен уплътнителен; 15 – подвижна рамка, изменяща положението на петата 3;  $B_1, B_2, B_3$  и  $B_4$  – винтове регулиращи;  $\Pi_1, \Pi_2$  и  $\Pi_3$  – пружини с регулируема сила на притискане

Схемата осигурява два режима на управление – ръчно и автоматично, които се избират и превключват чрез ключа II.1.

При избор на първия режим ключът се поставя в позиция “0” (това състояние на схемата е отразено на фиг.5) и електрическата връзка между клеми 4 и 5 се възстановява от подвижния контакт ПК<sub>1</sub> на II.2. В режим “ръчно управление” пускането и спирането на компресора се осъществява чрез съответните бутони на пускателя АПМЗТ – 500/200, независимо от състоянието на контактите на III.1.1 и III.2. При този режим на управление се осигурява нормална работа на компресора в случаите, когато се извършват ревизионни или ремонтни работи по останалите компоненти на схемата.



Фигура 5. I – пускател звезда-триъгълник АПМЗТ – 500/200; I.1 – главен контактор ( $K_M$ ) на пускателя; I.2 и I.3 – превключващи контактори ( $K_3$  и  $K_T$ ) на пускателя; I.4 – реле за време, топлинно (РВТ); I.5 – реле топлинно; II – превключвател на режимите; II.1 – реле междинно (РМ); II.2 – двупозиционен пакетен ключ; III. – пневмо-електричен, контролно-измерителен и команден блок; III.1 – регулатор на налягането (РН); III.1.1 – краен прекъсвач; III.1.2 – механична част на регулатора; III.2 – пневматична част на блока III; III.2.1 – предпазен клапан; III.2.2 – корпус-разклонител; III.2.3 – кран; III.2.4 – манометър;  $B_1, B_2, B_3$  и  $B_4$  – бобини на контакторите  $K_M, K_3, K_T$  и РМ; Н – нагреваем елемент на РВТ; ⊙ – клеми от клеморедите на II и III; F – резултантна сила, създавана от механичната част на регулатора на налягане.

При избор на режим “автоматично управление” ключът II.2 се поставя в позиция “I”, при което чрез подвижния контакт ПК<sub>2</sub> на II.2 се шунтират бутоните “пуск” и “стоп” на

АПМЗТ – 500/200, а пускането и спирането на компресора се прехвърля на регулатора на налягането III.1.

Автоматичното управление има за цел да прекрати работата на компресора когато налягането на въздуха в резервоара е достигнало до  $0,6\text{MN/m}^2$  и да го включва отново, когато същото е спаднало до  $0,25\text{MN/m}^2$  (тези граници са съгласувани със специалисти от дружеството). За предотвратяване изпускане на сгъстен въздух от резервоара в атмосферата, горната граница на налягането е избрана с  $0,5\text{MN/m}^2$  под нивото на задействане на предпазния клапан на въздушния резервоар и съответства на номиналното налягане на сгъстения въздух за използваните ръчни пневматични инструменти.

С поставяне на ключа II.2 в позиция "I", контакторът PM се задейства тъй като на клемата 3 се подава нула, а на клемата 2 – фазата R по веригата т. 92 от I, клемите 4, 1, В, затворен ключ на РН, клемите А и 2. Контактът PM затваря контакта си  $K_{PM}$ , свързан към клемите 4 и 5. Фазата R достига до точка 5 от I през клемата 4, контакта  $K_{PM}$ , клемата 5, подвижния контакт  $PK_2$  и клемата 6, вследствие на което двигателят се пуска.

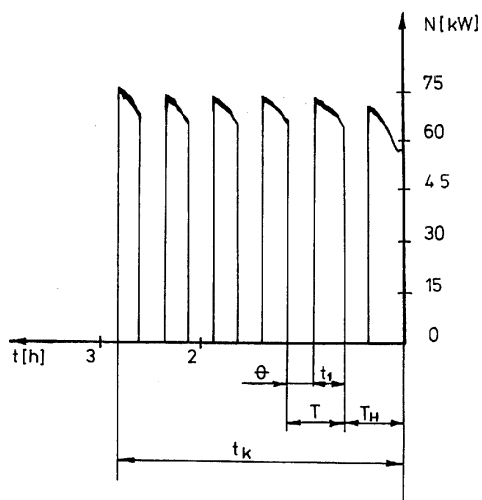
При увеличаване на налягането до  $0,6\text{MN/m}^2$ , РН изключва бобината на контактора КМ като прекъсва веригата между клемите А и В. Контактът  $K_{PM}$  се изключва и прекъсва фазата към т.5 от пускателя I, което предизвиква изключване на двигателя.

При спадане на налягането до  $0,25\text{MN/m}^2$  РН затваря контакта си и задейства контактора PM, който чрез контакта си  $K_{PM}$  подава фазата към т.5 и двигателят се пуска. Този процес продължава в автоматичен режим като се управлява от изменението на налягането в резервоара.

За да бъде аварийно изключен, работещият компресор в автоматичен режим, двупозиционният пакетен ключ II.2 трябва да се завърти в позиция "0" (т. е. – да се премине към ръчно управление), след което да се натисне бутон "стоп".

За установяване годността на техническите средства и схемата за автоматично управление на компресора, през месец ноември 2002 г. се проведеха 72-часови проби със записване (чрез самопищещ уред WATTREG 10) на консумираната от електродвигателя мощност (N).

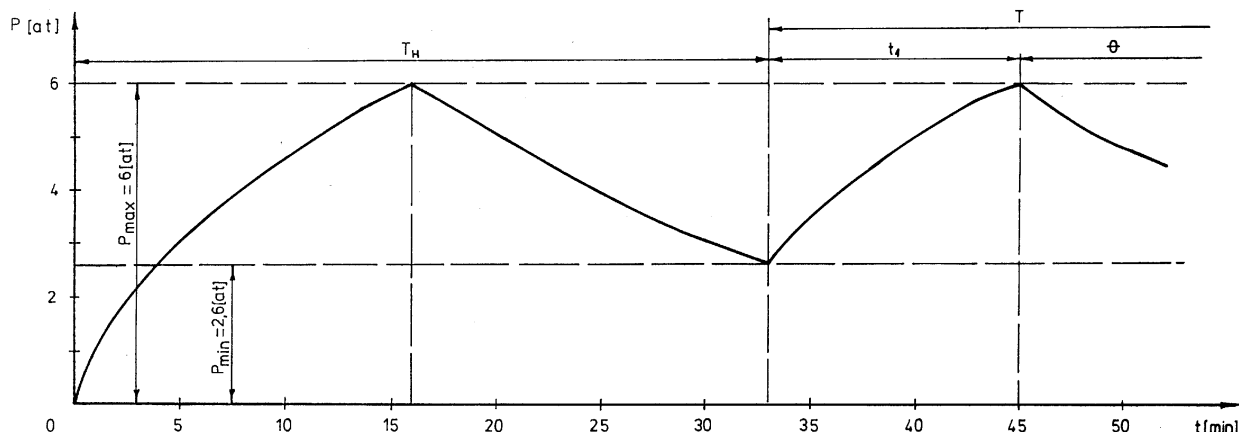
На фиг. 6 е показан ватметричен запис на зависимостта  $N=f(t)$  при автоматично управление на компресорното задвижване и липса на работещи консуматори на сгъстен въздух, а на фиг. 7 – графичният израз на зависимостта  $p=f(t)$ , построена по показанията на манометъра, отчетени при същите натоварване и вид управление на компресора. Двете криви илюстрират нормалната работа на схемата и апаратите, осъществяващи автоматичното управление на компресорното задвижване. От фиг. 7 се вижда, че включването и изключването на компресора се осъществява устойчиво при достигане съответно на горната ( $p_{max}=0,6\text{MN/m}^2=6\text{at}$ ) и долната ( $p_{min}=0,26\text{MN/m}^2=2,6\text{at}$ ) стойности на налягането във въздушния резервоар.



Фигура 6

Фиг. 7 показва, че след завършване на началния цикъл ( $T_H$ ), остатъкът от времето за използване на компресора през работната смяна ( $t_k$ ) се разделя на равни по времетраене цикли (T), при което съотношението между  $t_1$  и  $\theta$  (това съответно са времената за работа и престой на компресора в рамките на един цикъл) остава неизменно.

След завършването на изпитанията (06.11.2002) системата за автоматизирано управление на компресора е предадена за експлоатация в промишлени условия, като досега не е показала дефекти.



Препоръчана за публикуване от  
катедра " ", МЕМФ

# SCHEME AND TECHNICAL MEANS FOR AUTOMATED CONTROL OF THE COMPRESSOR STATION IN QUARRY FIRST OF MAY – MARBLE AND GRANITE CORPORATION

*Neli Stefanova*

University of Mining and Geology  
“St. Ivan Rilski”  
Sofia 1700, Bulgaria

*Angel Zabchev*

University of Mining and Geology  
“St. Ivan Rilski”  
Sofia 1700, Bulgaria

**Matei Mateev**

University of Mining and Geology  
“St. Ivan Rilski”  
Sofia 1700, Bulgaria

## ABSTRACT

### The paper treats the means for automated control of the compressor station exploited under the conditions of quarry FIRST OF MAY - MARBLE AND GRANITE CORPORATION

Until recently a large dimensions extraction of granite blocks has been realized in the quarry FIRST OF MAY of the MARBLE-GRANITE Ltd., which is situated in the western slopes of the VITOSHA MOUNTAIN. For next machining (cutting into slabs and grinding) the blocks have been transported in the stone cutting and grinding workshops built in the village VLADAJA.

Considerable amounts of sets, free stone and elements for granite lining have been produced on the quarry territory.

Drilling and blasting operations has been carried out for uncovering and partially for extraction realization and for separation from the mass - drilling operations providing hydraulic wedges use.

The quarry has had several production sections, its own transformer station and pneumatic management including an air conduit long about 2-3 km and compressed air consumers (jack hammers and pneumatic picks, set presses and sharpener).

Initially, the compressor station has been equipped with five two-stage reciprocal compressors type BORETZ 10/8, which have fed a shared air tank (receiver) with a blow valve by a manifold pipe.

Each compressor drive consists of a three-phase squirrel-cage induction motor AM-92-6 (power 75 kW, rotation frequency  $950 \text{ min}^{-1}$  and voltage 380V) and a V-belt transmission.

The compressors cooling are provided by a shared water tank in an open scheme with gravitation liquid flow.

The manual motors control (start and stop) and their overload protection have been realized by automatic oil-filled star-delta starters АПМ3Т - 500/200.

The participation of the input, medial and executive starter elements in the power and driving circuit is respectively shown in figures 1a and 1b.

In principle, the motor-compressor unit basic configuration is shown in fig. 2.

The manual start of each compressor is realized as follows:

3. At no excessive pressure of the air in the tank (i.e. after a long pause of the pneumatic energy consumers operation or after a compressed air deliberately emission in the atmosphere through the cocks  $K_2$  and  $K_1$ ) the motor starting process goes off at closed cock  $K_1$  and opened  $K_2$ .
4. At a high (i.e. close to the operational) air pressure in the tank the motor starting process is preceded by the cock  $K_2$  closing and  $K_1$  opening. After the end of the process closing of the cock  $K_1$  and opening of  $K_2$  have to start simultaneously.

Usually, the compressors have been in continuously operation during the whole shift and the compressed air high consumption and the possibility for the number of the compressors in use to be changed have prevented the blow valve 8 (adjusted for bound pressure  $0,65 \text{ MN/m}^2$ ) actuation as well as the rise of the respective undesirable pneumatic energy losses.

For several years quarry FIRST OF MAY lands in the extended borders of the NATIONAL PARK VITOSHA, so the production and extraction activities have got more complicated due to the intolerable realization of blasting operations.

At this stage, the quarry extraction is brought to oversized blocks dragging out of its own old dumps and the production activity - to production of sets and free stone. This has also led to a sharp decrease in the quarry pneumatic management, which is now presented by two compressors (an operating and a reserve), an air conduit long about 600m and several jack hammers and pneumatic picks. The maintenance personnel number has been reduced as well and the only man, who is in charge of the compressor, is also responsible for the pneumatic management rest components maintenance.

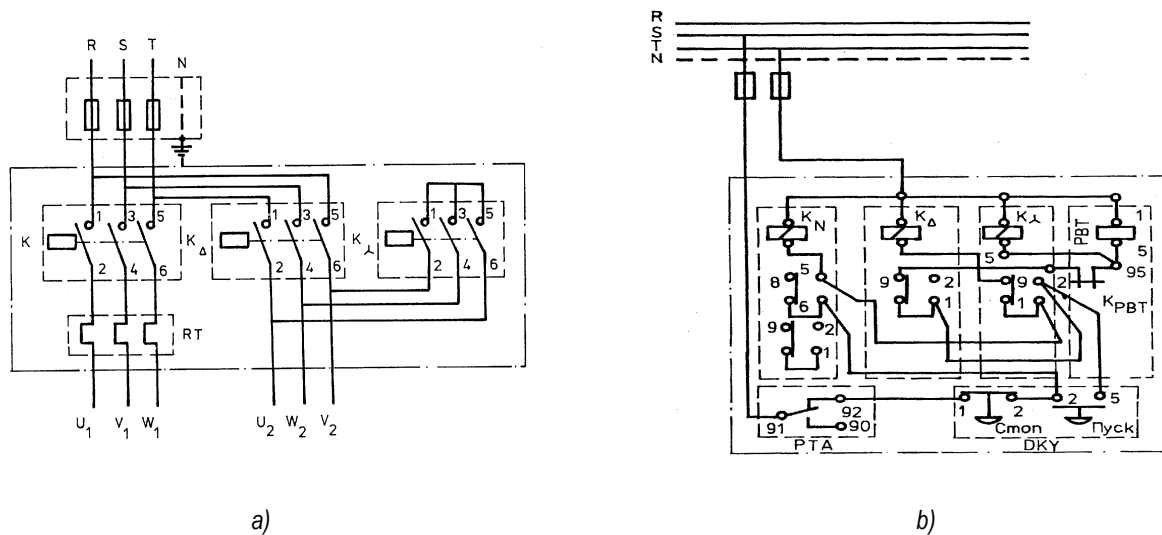


Figure 1

The attempt for decrease in the electric power consumption for the compressed air production by reduction of the compressor operation time ( $t_1$ ) during the working shift to tree hours has not brought acceptable results because at the restricted consumers number and comparatively high compressor output (30 m<sup>3</sup>/min) even small changes in the operating pneumatic picks number lead to the blow valve actuation and the compressed air emission to the atmosphere.

At the state of affairs, worsen by the continuous increase of the electric power price in the country, the governing body of MARBLE-GRANITE has assigned (by a contract with the Scientific-research Sector of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski") to the team of the authors the implementation of automatic control of the quarry FIRST OF MAY compressor station.

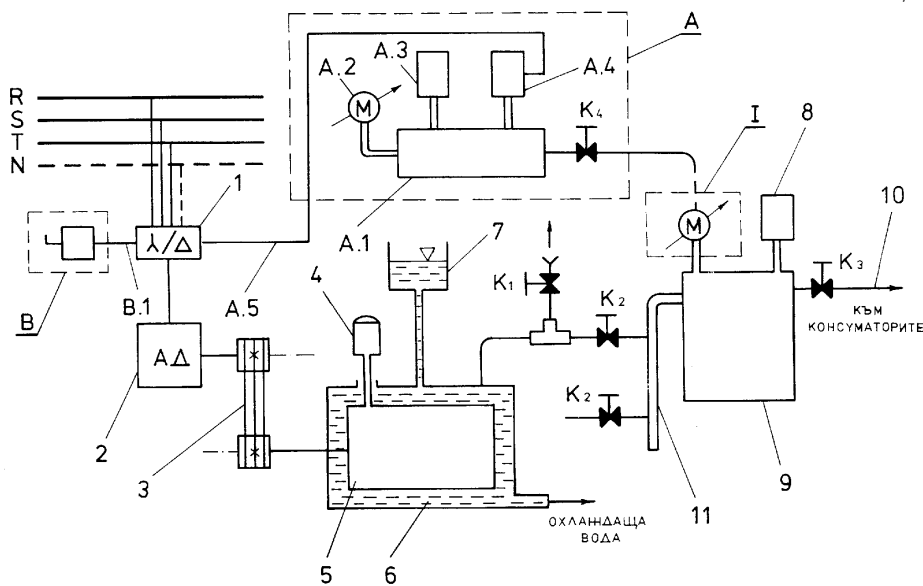


Figure 2. 1 - starter АПМ-3Т-500V/200А; 2 - induction motor; 3 - V-belt transmission; 4 - air filter; 5 - compressor; 6 - cooling water jacket; 7 - water tank; 8 - blow valve; 9 - air tank (receiver); 10 - main air conduit; 11 - manifold pipe; A - control-measuring pneumatic device; A.1 - body-distributor; A.2 - manometer; A.3 - blow valve; A.4 - pressure regulator; B - duty switch changer; A.5 and B.1 - lines supplying control electric signals to the starter 1; I - manometer; K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> and K<sub>4</sub> - manually controlled stop cocks.

The restricted corporation finances predetermined the realization of partial (in accordance with the criterion of compressed air pressure) compressor control automation at a maximal preservation of the existing compressor station configuration. The restricted contract price did not allow the transmission reconstruction by implementation of starting

clutches, respectively the back valves delivery or remote controlled cocks substitution for the cocks K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> and K<sub>3</sub> as well as the basic starting electric equipment replacement.

Under these circumstances the following changes (fig. 2) have been done in the motor-compressor set configuration:



1. The manometer I (see fig. 2) is removed;
2. Two new units supplying control electric signals to the АПМ3Т – 500/200 are implemented:
  - a. A duty switch changer B (fig. 2) consisting of medial relay and two-position switch;
  - b. A control - measuring pneumatic device A (fig. 2) consisting of a body-distributor A.1, manometer A.2, blow valve A.3, pressure regulator A.4 and stop cock K<sub>4</sub>.

The general view of the unit A is shown in fig. 3 and the subunit A.4 (pressure regulator PH) mechanical diagram – in fig. 4. Both of them (i. e. A.3 and A.4) are components of the German industrial locomotives EL-2 pneumatic brake system. The former subunit A.3 has been calibrated and adjusted in laboratory conditions for bound pressure 0,67 MN/m<sup>2</sup>, so in case of failure to repeat the action of the basic blow valve 8. The latter (A.4) has been subjected to a reconstruction, which finds expression in replacement of the coil spring П<sub>1</sub> (see fig. 4) and readjustment of the regulating screws B<sub>1</sub> and B<sub>2</sub>, respectively of the left supporting plate 4. As a result the pressure regulator PH maximal switch range is increased from 0,2MN/m<sup>2</sup> to 0,4 MN/m<sup>2</sup>. By the regulating screw B<sub>2</sub> and the adjustable right supporting plate 4 an upper bound of PH actuation exceeding to 0,6 MN/m<sup>2</sup> (PH allows p<sub>max</sub>=0,9 MN/m<sup>2</sup>) is measured in laboratory conditions.

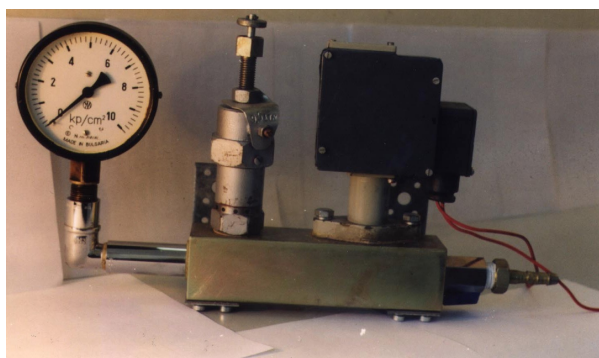


Figure 3

By the compressor test starts, carried out in industrial conditions by the available starter АПМ3Т – 500/200, but at different excessive pressure values in the receiver, has been ascertained that the upper pressure bound at which the starting process still ends successfully is 0,35 MN/m<sup>2</sup>.

The changes in the starter АПМ3Т – 500/200 driving circuit and the whole compressor control circuit diagram are shown in fig.5.

The diagram provides two control regimes – manual and automatic, which could be chosen and switched by the switch II.1.

At a choice of the first regime the switch has to be put in position “0” (this diagram position is shown in fig. 5) and the connection between the clamps 4 and 5 is restored by the movable contact ПК<sub>1</sub> of II.2. In manual control regime the compressor start and stop are realized by corresponding starter АПМ3Т – 500/200 buttons regardless of the III.1.1 and

III.2 contacts condition. At this control regime a normal compressor operation is provided in cases, when preventive maintenance or repair works in the rest of the diagram components are carried out.

At a choice of automatic control regime the switch II.1 has to be put in position “I”. At this, the АПМ3Т – 500/200 buttons Start and Stop are shunted by the movable contact ПК<sub>2</sub> of II.2 and the compressor start and stop are transferred to the pressure regulator III.1.

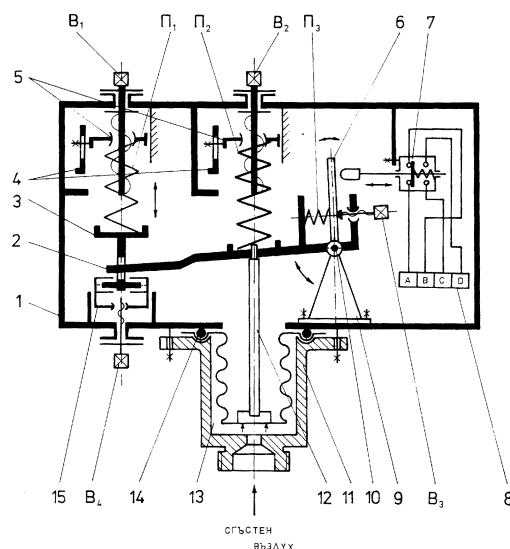


Figure 4. 1 – body; 2 – hinged frame; 3 – adjustable thrust; 4 – restrictive adjustable supports; 5 – tightening movable cross arms; 6 – hinged arm; 7 – limit switch; 8 – clamps; 9 – hinged prop; 10 – hinged axle; 11 – nipple-inlet for the compressed air; 12 – a stem transmitting the compressed air pressure to the hinged frame 2; 13 – corrugated metal sleeve; 14 – sealing ring; 15 – a movable frame changing the thrust 3 position; B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> u B<sub>4</sub> – regulating screws; П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub> u П<sub>3</sub> – coil springs with adjustable pressure force.

The automatic control aims at the compressor operation discontinuation when the air pressure in the receiver has reached to 0,6 MN/m<sup>2</sup> and switches it on again, when the latter has fallen to 0,25 MN/m<sup>2</sup> (the bounds have been coordinated with the corporation specialists). The compressed air emission from the receiver to the atmosphere is prevented by a choice of the upper pressure bound with 0,5 MN/m<sup>2</sup> lower than the actuation level of the air tank blow valve and corresponds to the compressed air rated pressure for the manual pneumatic tools in use.

When the switch II.2 is in position “I” the contactor PM is actuated because 0 is supplied to the clamp 3 and to the clamp 2 – the phase R along the circuit : point 92 from I, the clamps 4,1, B, the closed switch of PH, clamps A and 2. The contactor PM closes its contact K<sub>PM</sub> connected with the clamps 4 and 5. The phase R reaches the point 5 from I through the clamp 4, the contact K<sub>PM</sub>, the clamp 5, the movable contact ПК<sub>2</sub> and clamp 6 as a result of that the motor starts.

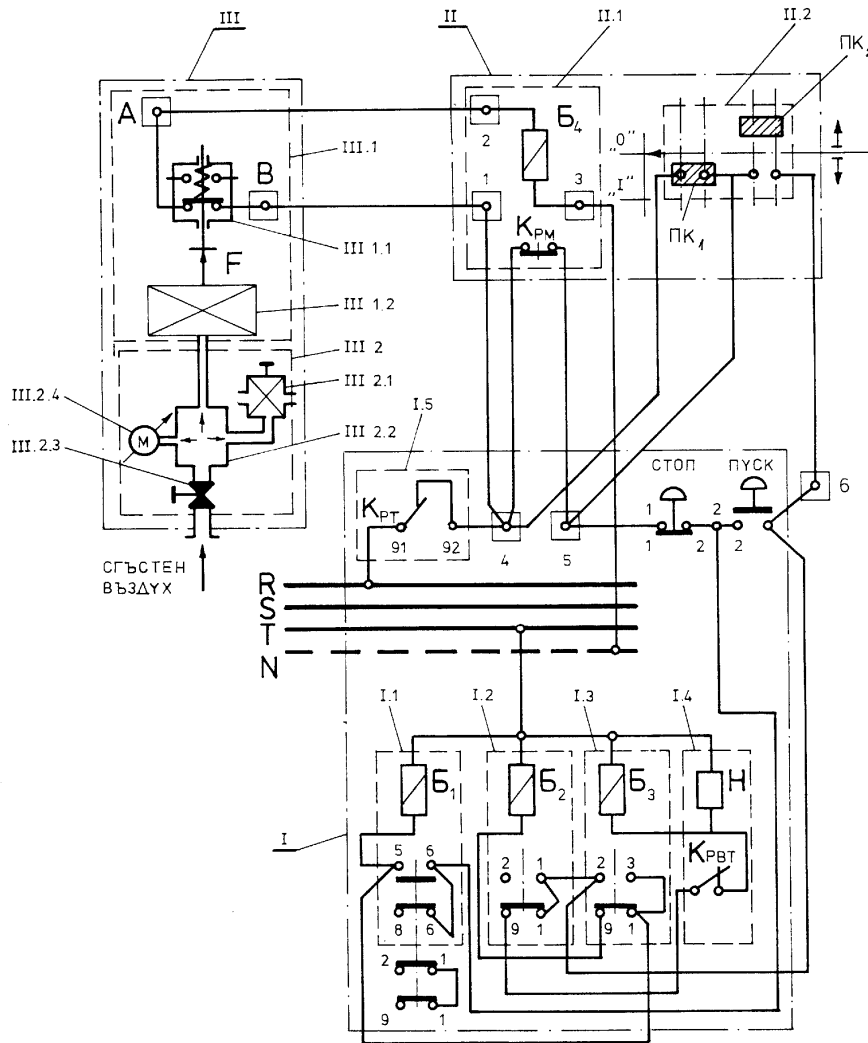


Figure 5. I – star-delta starter АПМ3Т – 500/200; I.1 – main starter contactor ( $K_N$ ); I.2 and I.3 – starter switching contactors ( $K_S$  and  $K_D$ ); I.4 – thermal timer (PBT); I.5 – thermal relay; II – duty switch changer; II.1 – medial relay (PM); II.2 – bistable switch; III – control-measuring pneumo-electric block; III.1 – pressure regulator (PH); III.1.1 – limit switch; III.1.2 – regulator mechanical part; III.2 – pneumatic part of the block III; ; III.2.1 – blow valve; III.2.2 – body-distributor; III.2.3 – cock; III.2.4 – manometer;  $B_1, B_2, B_3$  и  $B_4$  – coils of the contactors  $K_N, K_S, K_D$  and PM; H – PBT heating element; - clamps of the clamp-rows II and III; F – total force created by the pressure regulator mechanical part.

At the pressure increase to  $0,6 \text{ MN/m}^2$  the PH switches off the contactor KM coil by the circuit disconnection between the clamps A and B. The contact  $K_{PM}$  switches off and breaks the phase to point 5 from the starter I, which causes the motor turning off.

At the pressure fall to  $0,25 \text{ MN/m}^2$  PH closes its contact and actuates the contactor PM, which by the contact  $K_{PM}$ , supplies the phase to the point 5 and the motor starts. The process continues in an automatic regime controlled by the pressure change in the receiver.

In order the operating compressor to be emergency stopped in an automatic regime the bistable switch has to be turned to "0" (i.e. the manual control to be switched over) and next the Stop button to be pressed.

During the November, 2002, 72-hour recording test (by a recording instrument WATTREG 10) of the power consumed

by the motor (N) has been carried out in order the technical means and the diagram operability to be determined.

A wattmeter record of the dependence  $N=f(t)$  at the compressor drive automatic control and absence of operating compressed air consumers is presented in fig. 6, and fig. 7 shows the graphic expression of the dependence  $p=f(t)$ , constructed according to the manometer indications, which have been read at the same load and compressor control

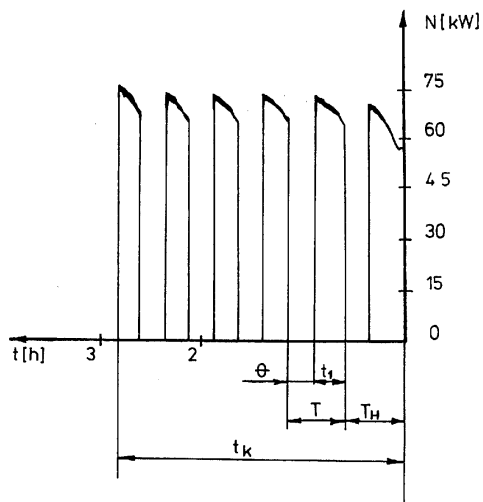


Figure 6

type. The two curves illustrate the normal operation of the diagram and equipment, realizing the compressor drive automatic control. In fig. 7 it could be seen that the compressor start and stop are steadily realized at reaching respectively the upper ( $p_{\max}=0,6 \text{ MN/m}^2=6\text{at}$ ) and the lower ( $p_{\min}=0,26\text{MN/m}^2=2,6\text{at}$ ) values of the pressure in the receiver.

Fig. 7 shows that after the initial cycle ( $T_H$ ) completion the rest of the time for the compressor use during the working shift ( $t_k$ ) is divided in equal cycles ( $T$ ). At this, the relation between  $t_1$  and  $\theta$  (these are the compressor operation and idle times during a cycle) is unchangeable.

The compressor automatic system has been delivered for exploitation in industrial conditions after the test completion (6<sup>th</sup>, November, 2002) and it has not shown any defects.

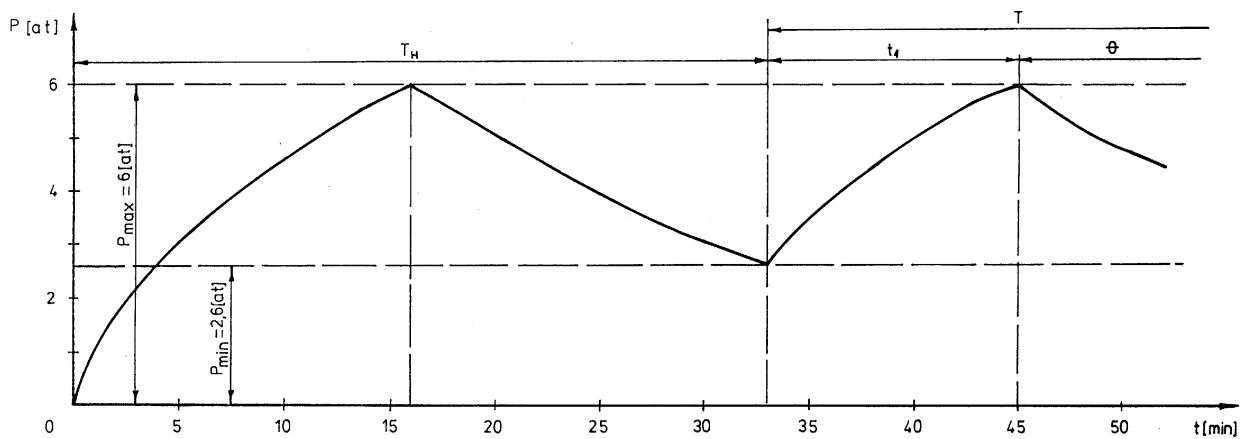


Figure 7

**Recommended for publication by Department of**

*Electrical Engineering, Faculty of Mining Electromechanics*