

ПРОЕКТИРАНЕ НА РУДНИЧНИ ПНЕВМАТИЧНИ МРЕЖИ С ПОМОЩТА НА ЕИМ

РЕЗЮМЕ

Разработен е уточнен метод за проектиране на руднични пневматични мрежи (РПМ), послужил като словесен алгоритъм за съставяне на програма в среда на MATLAB за персонални компютри. Методът позволява от голям брой варианти на основните параметри да се определи оптималния вариант на РПМ по отношение на капиталните и експлоатационни разходи. Програмата дава информация за РПМ по отношение на основните параметри, както в процеса на разрастване на рудника, така и при отделните етапи от изграждането ѝ. Оптимизирането на основните параметри при проектирането увеличават ефективността на РПМ при експлоатация.

При проектирането на руднични пневматични мрежи е необходимо да се вземат предвид следните основни изисквания на които те трябва да отговарят:

- да доставят на потребителите необходимите количества съгстен въздух с определено налягане и минимални обемни загуби;
- капиталните разходи да бъдат минимални;
- експлоатационните разходи да бъдат минимални;
- с развитието на рудника да се разгръща и пневматичната мрежа без да се влошават икономическите ѝ показатели.

Изискването за минимални капитални разходи се изпълнява със залагането на минимален диаметър на оразмерявания тръбопровод, а изискването за минимални експлоатационни разходи се удовлетворява с минимални загуби на налягането, които са толкова по-малки колкото е по-голям диаметър на същия тръбопровод. Тези взаимно-противоречащи си изисквания довеждат до големи различия и неточности при различните методи за проектиране на пневматични мрежи.

Развитието на всеки рудник е съпроводено с промяна на броя на потребителите, промяна на доставяните количества съгстен въздух, усложняване на разпределителната мрежа и увеличаване на общата дължина на тръбопроводите. В известните методи за проектиране рудничните пневматични мрежи се приемат стационарни непроменящи се във времето, при максимален брой потребители, максимални разходи на съгстен въздух и мак-

симални дължини на тръбопроводите. Така проектирана рудничната пневматична мрежа е нерационална, не са известни точните разходи на съгстен въздух по отделните ѝ участъци, както и общите разходи в различните етапи от строителството и експлоатацията ѝ. Тези методи за проектиране на рудничните пневматични мрежи (Гарбуз, 1961; Смородни, 1980; Цейтлин, Мурзин, 1985; Янков, 1980) използват емпирични формули, номограми и малки диапазони на скоростите на транспортирания съгстен въздух.

За да бъде отговорено най-пълно на изброените по-горе основни изисквания към рудничните пневматични мрежи е разработен метод за проектирането им базиращ се на най-изгодната скорост на движение на съгстения въздух по тръбопроводите, при която капиталните и експлоатационните разходи могат да бъдат оптимизирани. Освен това за всеки етап от развитието на мрежата може да се получава информация за основните ѝ параметри. Разработеният метод е послужил като основен алгоритъм за съставянето на програма в средата на MATLAB за персонални компютри. Въвеждането на входните данни се извършва в матричен вид съгласно топологията на пневматичната мрежа.

Същността на метода се състои в пресмятане на вътрешните диаметри на тръбопроводите, което се извършва последователно от най-отдалечения пункт на потребление към компресорната станция. Приема се, че налягането във всички пунктове на потребление е еднакво и равно на най-високото номинално налягане на потребителите.

Определя се разходът на състен въздух във всеки пункт на потребление, всеки участък от мрежата и за цялата мрежа, т.е. на изхода на компресорната станция. Това се осъществява с помощта на известни аналитични методи (Дегтяров, 1987; Смородни, 1980; Цейтлин, Мурзин, 1985). Следва изчисляване на вътрешните диаметри и загубите на налягане за всеки участък от пневматичната мрежа.

Оразмеряването на пневматичната мрежа се извършва на два основни етапа. Първият се състои в пресмятане на голям брой варианти на магистралния тръбопровод и намиране на оптималния от тях, т.е. този при който сумарните капитални и експлоатационни разходи са минимални при скорост на въздуха в допустимите граници. Вторият етап включва пресмятане на диаметрите на разклонителната мрежа и общите технико-икономически показатели.

Вътрешните диаметри на участъците на магистралния тръбопровод се пресмятат по равенството за определяне на разход на свиваем флуид през определено сечение:

$$F \cdot u = V_y \frac{\rho_0}{\rho_{cp}}, (1)$$

където:

F е площта на сечението на тръбопровода от оразмерения участък, m²;

u - скорост на състения въздух в тръбопровода, m/s;

V_y - обемен разход на състен въздух през участъка, m³/s;

ρ₀ - плътност на атмосферния въздух, kg/m³. За нормални условия се приема, че ρ₀ = 1,2 kg/m³ (Смородни, 1980).

ρ_{cp} - средна плътност на състения въздух в участъка, kg/m³.

В съществуващите методи за проектиране на рудничните пневматични мрежи (Цейтлин, Мурзин, 1985; Янков, 1980) се препоръчва диапазона на най-изгодните скорости на движение на състения въздух по тръбопроводите да се приеме от 6 до 10 m/s. Дългогодишните изследвания в Ленинградския минен институт (Смородни, 1980) показват, че този диапазон може да се разшири от 4 до 12 m/s.

Средната плътност на състения въздух в участъците се определя по формулата:

$$\rho_{cp} = \frac{p_{cp}}{R \cdot T_{cp}}, \text{ kg / m}^3, (2)$$

където:

ρ_{cp} е средно налягане в тръбопровода, равно на средноаритметичната стойност между началното и крайното налягане в същия тръбопровод, Pa;

R - газова константа. Равна е на 287 J/kgK;

T_{cp} - средна абсолютна температура на състения въздух в тръбопровода, K.

Като се изрази площта чрез вътрешния диаметър на участъковия тръбопровод D_y и се вземат предвид стойностите на ρ₀, u, R и ρ_{cp} от формула (2) за изчислявания

вътрешен диаметър от равенство (1) се получава следната уточнена формула:

$$D_y = \sqrt{\frac{438,5 V_y T_{cp}}{(4 + 12) \rho_{cp}}}, \text{ m} .(3)$$

Загубите на налягане в същия тръбопровод се определят по формулата на Дарси-Вайсбах (Цейтлин, Мурзин, 1985):

$$\Delta p_y = \frac{5,62 \cdot M_y^2 \cdot T_{cp} \cdot L_y}{D_{cp}^{5,3} \cdot \rho_{cp}}, \text{ Pa} ,(4)$$

където:

M_y е масов разход на състен въздух през участъка, kg/s.

$$M_y = \rho_0 \cdot V_y, \text{ kg / s} ,(5)$$

L_y - дължина на участъка, m.

$$L_y = 1,15 \ell, \text{ m} ,(6)$$

ℓ - проектна дължина на участъка, m.

Дължината на всеки участък ℓ се увеличава с 15 % за компенсиране на наклона на тръбопроводите и загубите на дължина в резултат на монтажните работи.

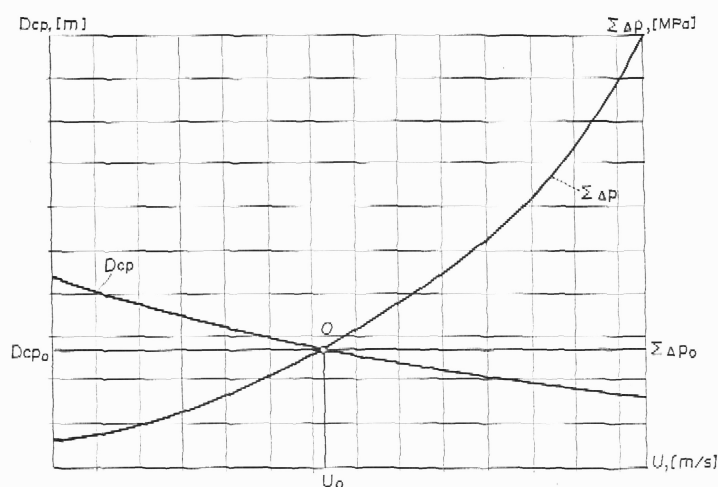
За всеки изчислен вариант на магистралния тръбопровод на пневматичната мрежа се получават данни за V_y, M_y, Δp, ρ_{cp} и D_y. По тези данни се изчисляват общия обемен разход на състен въздух през пневматичната мрежа V_{пм}, и налягането на изхода на компресорната станция p_{кc}.

Магистралният тръбопровод може да бъде изчислен в произволно голям брой варианти. При приетата разлика в скоростите на въздуха в различните варианти 0,1 m/s се получават 81 варианта на магистрален тръбопровод отговарящ на нуждите на конкретното пневматично стопанство. Всички тези варианти са оразмерени за нормална работа на пневматичните потребители, но не всеки от тях е достатъчно икономичен по отношение на сумарните капитални и експлоатационни разходи.

Оптималният вариант, при който пневматичната мрежа ще има благоприятни стойности на D_y и Δp се определя чрез съпоставяне на загубите и диаметрите при едни и същи скорости на състения въздух с помощта на разработената програма. Тя дава данни както в числен така и в графичен вид. По изчислените варианти се определя за всеки от тях среден диаметър D_{cp} и сумарни загуби на налягане ΣΔp. Тези параметри позволяват да се построят графики на функциите D_{cp} = f(u) и ΣΔp = f(u), които са от вида показани на фиг. 1.

В таблица 1 са посочени основните параметри на вариантите на магистралния тръбопровод използвани за оптимизиране на разходите.

Таблица 1



Фигура 1.

Пресечната точка на кривите D_{cp} и $\Sigma \Delta P$ определя оптималните стойности на средния диаметър, загубите на налягане и скоростта на съгъстения въздух, т.е. оптималния вариант на магистралния тръбопровод, а именно D_{cp0} , $\Sigma \Delta P_0$ и u_0 . Този вариант се получава при точно определена оптимална скорост на въздуха, но при определянето ѝ са използвани средни вътрешни диаметри и сумарни загуби. За да се получат стандартните вътрешни диаметри на тръбопроводите при оптимални разходи се извършва преизчисляване на магистралния тръбопровод при определената оптимална скорост на въздуха ($u=u_0$).

Оптимизиране на вариантите на основните параметри на пневматичната мрежа се извършва само при оразмеряването на магистралния тръбопровод, защото при неговото строителство се усвояват основните капитални вложения, през него преминават всички количества съгъстен въздух и при него се отчитат големите загуби на налягане.

Вторият етап от проектирането на рудничната пневматична мрежа, което се състои в определяне на вътрешните диаметри на тръбопроводите на разклонителната мрежа при известни загуби на налягане в тях, се извършва с помощта на формула (4) предварително решена относно вътрешния диаметър D_y . Всички данни се дават в табличен вид по участъци на разклонителната мрежа.

Разработената програма за персонални компютри дава информация за диаметрите на всички тръбопроводите на пневматичната мрежа, за обемните разходи на съгъстен въздух за всеки участък, за части от пневматичната мрежа и за цялата мрежа. Тя може да преизчислява разходите и диаметрите на тръбопроводите при промяна на броя на потребителите и при промяна на дължините на тръбопроводите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Уточненият метод за проектиране на руднични пневматични мрежи, включващ разширяване на диапазона най-изгодни скорости на движение на съгъстения въздух, е послужил като словесен алгоритъм за съставяне на програма в среда на MATLAB за персонални компютри.
2. Методът позволява от голям брой варианти на основните параметри на магистралния тръбопровод на рудничната пневматична мрежа, с помощта на ЕИМ, да се определи оптималният вариант по отношение на капиталните и експлоатационни разходи.
3. Разработената програма за ЕИМ може да дава информация за основните параметри на пневматичната мрежа не само в нейния статичен вид, но и при промяна на броя на потребителите, промяна на дължините на участъците, както и на отделните етапи от изграждането ѝ в процеса на разработване на рудника.
4. Определянето чрез ЕИМ на основните параметри на рудничната пневматична мрежа намалява многократно времето за проектирането ѝ и увеличава ефективността ѝ.

ЛИТЕРАТУРА

- Гарбуз Д. Л. 1961. Рудничные пневматические установки. М. ГНТ ИГД.
- Детярев В. И. 1987. Снижение потерь в шахтных пневмоэнергостемах, Киев. Техника.
- Смородни С. С. 1980. Проектирование рудничных воздухопроводных сетей, Л. МВССО.
- Цейтлин Ю. А., В. А. Мурзин. 1985. Пневматические установки шахт, М. Недра.
- Янков С. Р. и др. 1980. Нормативи и правила за технологично проектиране на подземни рудници, С. НИПРОРУДА, Техника.

Препоръчана за публикуване от
катедра "Механизация на мините" на МЕМФ

COMPUTER DESIGN OF MINE PNEUMATIC NETWORKS

SUMMARY

More precise method for mine pneumatic networks (MPN) design, served as verbal algorithm for creation a program in MATLAB environment is developed. Among great number of variants of main MPN properties an optimal one in regard of capital and operational costs can be defined by applying the method. Computer program can give information about main MNP properties in mine development process and also in its life cycle stages. Main MPN parameters' optimization at the design stage increase its operational effectiveness.

The following main requirements for Mine Pneumatic Networks (MPN) should be taken into account at design stage:

- To supply needed compressed air amounts to consumptions with predefined pressure and with minimal losses;
- Minimal capital costs;
- Minimal operational costs;
- Parallel to mine development to expand pneumatic system without its' economic parameters reduction.

Minimal capital costs can be achieved by usage of as little as possible pipeline diameter while minimal operational costs (minimal pressure loss) are less if tubes are greater. Talking about the same pipeline we have two opposite requirements which lead to great differences and discrepancies in MPN design.

Variations in consumers' number, in compressed air amounts supply, total distribution network length expansion and complication in its structure accompany each mine development. In the contrary to this reality, at design stage such networks are assumed to be stationary in time, with maximal consumers, compressed air amounts and pipelines' length. Such network design is not rational, exact compressed air amounts for different sections are not known, as well as total costs for different stages of its development and operation. These design MPN methods (Garbus, 1961; Smorodni, 1980; Цейтлин, Мурзин, 1985; Jankov, 1980) apply empirical formulae, family of curves and narrow diapasons of compressed air velocity variations.

The method developed and presented in this paper tries to overcome the above written problems by taking into account the most favorable compressed air velocity in pipeline under optimal capital and operational costs. At each stage of network development information for its main parameters can be obtained. The method developed serve as a basic algorithm for computer program in MATLAB environment. Data input is performed in matrix way in accordance with pneumatic network topology.

The essence of method comprises of calculation of inside pipeline diameters starting from the most distant section towards compressor station. It is assumed that pressure is equal

elsewhere to the greatest nominal consumption pressure. Compressed air discharge at each supply point is evaluated, i.e. at the compressed station exit. This is performed by application of known analytical methods (Degtjarev, 1987; Smorodni, 1980; Цейтлин, Мурзин, 1985). Then calculation of inside diameters and pressure losses for each network section takes place.

Pneumatic network dimensioning is done at two basic stages. The first one is to calculate great number of variants for the highway pipeline and to choose the optimal (with minimal total capital and operational costs keeping velocity into desired limits). The second one includes calculation of subsidiary branches' diameters and total economic parameters.

Highway sections' inside diameters are calculated under the expression for air discharge of compressible fluid through a given surface:

$$F \cdot u = V_y \frac{\rho_0}{\rho_{cp}}, (1)$$

where:

F is pipeline cross section area for dimensioning part, m²;

u – compressed air velocity in pipeline, m/s;

V_y – air discharge through section, m³/s;

ρ₀ – atmospheric air density, kg/m³. For normal conditions it is set to be ρ₀ = 1,2 kg/m³ (Smorodni 1980).

ρ_{cp} – compressed air average density in the section, kg/m³.

The most favorable values for air velocity in mine pneumatic networks design methods (Цейтлин, Мурзин, 1985; Jankov, 1980) are in the range 6 - 10 m/s. Long term research (Smorodni, 1980) in Leningrad mine institute show that it can be broaden to 4 - 12 m/s.

Compressed air average density in sections is calculated under expression:

$$\rho_{cp} = \frac{p_{cp}}{R \cdot T_{cp}}, \text{ kg/m}^3, (2)$$

where:

p_{cp} is average pressure in pipeline, equals to mean arithmetic value between pressure at the two sides of pipeline section, Pa;

R – gas constant. Equals to 287 J/kgK;

T_{cp} – average temperature of compressed air in pipeline, K.

Writing expression for cross section area by inside diameter of section pipeline D_y and substituting values for ρ_0 , u , R and p_{cp} in (2) the following formula for inside diameter is obtained:

$$D_y = \sqrt{\frac{438,5 V_y T_{cp}}{(4 \div 12) p_{cp}}}, \text{ m.} \quad (3)$$

Pressure losses in pipeline are calculated under Darcy-Weisbach formula (Цейтлин, Мурзин, 1985):

$$\Delta p_y = \frac{5,62 \cdot M_y^2 \cdot T_{cp} \cdot L_y}{D_{cp}^{5,3} \cdot p_{cp}}, \text{ Pa} \quad (4)$$

where:

M_y is mass discharge of compressed air through pipeline section, kg/s.

$$M_y = \rho_0 \cdot V_y, \text{ kg/s} \quad (5)$$

L_y – section length, m.

$$L_y = 1,15 \ell, \text{ m} \quad (6)$$

ℓ - design length of section, m.

The length ℓ of each section increases with 15 % in order to compensate pipeline inclination and length losses due to assembling work.

Data consisting of V_y , M_y , Δp , p_{cp} and D_y for each variant for highway pipeline of pneumatic network is obtained. They are utilized to calculate total volumetric flow rate $V_{пм}$ through pneumatic network and pressure loss at compressor station exits $p_{кс}$.

Arbitrary great number of variants for highway pipeline can be generated. Taking 0,1 m/s step for calculation of reasonable velocity range 81 variants of pipelines for particular pneumatic farm are obtained. All variants are dimensioned for normal work of pneumatic consumption, but not all of them are economically enough in regard of total capital and operational costs.

Optimal variant for which pneumatic network will show favorable values of D_y and Δp is defined via comparison of values

of diameters and pressure losses for equal velocities of compressed air. Program output can be either numerical or graphical. For each variant average diameter D_{cp} and total pressure loss $\sum \Delta p$ are calculated. Diagrams of $D_{cp} = f(u)$ and $\sum \Delta p = f(u)$, shown on figure 1, can be built upon these parameters.

Table 1 shows main input and output data in cost optimization of highway pipeline procedures.

Table 1

Cross section point of curves D_{cp} and $\sum \Delta p$ define optimal values of average diameter, pressure losses and compressed air velocity, i.e. optimal variant for highway pipeline, namely D_{cp0} , $\sum \Delta p_0$ and u_0 . This variant is obtained for exactly defined air velocity while using for this process inside diameters and total losses. In order to obtain standard inside pipeline diameters under optimal losses pre-calculation of highway pipeline is required for optimal air velocity ($u=u_0$).

Main pneumatic network parameters' optimization is performed only for dimensioned highway pipeline because during its construction main part of capital costs are spent, the whole amount of compressed air passes through and great pressure losses are counted there.

The second stage of mine pneumatic network design is inside diameter of subsidiary network evaluation under known pressure losses. This is done by formula (4) which is solved for inside diameter D_y . All data is given in table view for sections of subsidiary branches.

Computer program gives information for all pneumatic network pipelines' diameters, volumetric yield of compressed air for any section, parts of network and for the whole network. It can calculate costs and diameters when number of consumers and length change.

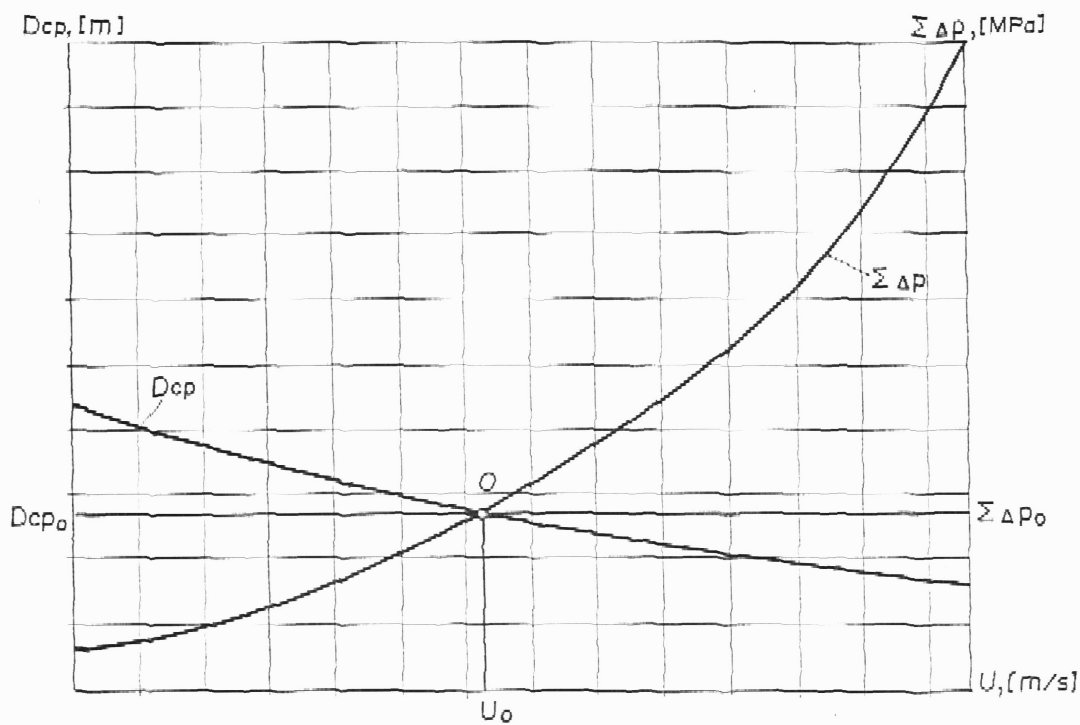


Figure 1.

CONCLUSION

5. Developed more precise method for mine pneumatic networks design served as verbal algorithm for computer program in MATLAB environment creation. It includes expansion of appropriate velocity range.

6. Method enables to choose optimal variant among great number of variants for main parameters of highway pipeline. Optimization is performed in regard of capital and operational costs.

7. Computer program can give information about main pneumatic network parameters not only for static situation but in dynamic environment for variations in consumption number, length and stages of its construction during mine life cycle.

8. Computer program application decreases design time and increases its effectiveness.

REFERENCES

- Garbus D. L. 1961. Mine pneumatic installations, M. GNT IGD, (russian text).
- Degtjarev V.I. 1987. Pressure losses decrease in mine pneumosystems, Kiev, Technika, (russian text).
- Smorodni S. S. 1980. Mine pneumatic network design, L. MBSSO.
- Цейтлин Ю. А., В. А. Мурзин. 1985. Пневматические установки шахт, М. Недра, (russian text).
- Jankov S.R. and others. 1980. Regulations for technical design of underground mines, S. NIPRORUDA, Technika, (bulgarian text).

Recommended for publication by Department of Mine Mechanization, Faculty of Mining Electromechanics