

А.Ю. Липчанский, А.Н. Жаткин

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СНАБЖЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЖАТОГО ВОЗДУХА ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА ПАО «ГАЙСКИЙ ГОК»

Сжатый воздух является одним из основных видов энергии на шахтах и рудниках для приведения в действие бурильных, добычных, проходческих машин. Но пневматическая энергия имеет ряд серьезных недостатков. Прежде всего — высокая стоимость по сравнению с электрической энергией, что объясняется большим потреблением электрической энергии компрессорами при производстве сжатого воздуха. Транспортирование сжатого воздуха от компрессорной станции до пневмоприемников подземного рудника ПАО «Гайский ГОК» осуществляется по длинным и разветвленным трубопроводам. При этом происходят значительные энергетические потери за счет гидравлических сопротивлений, температурных изменений, колебаний давления в питающих сетях и за счет утечек сжатого воздуха. В рамках энергосбережения и повышения энергоэффективности на предприятии ПАО «Гайский ГОК» предложены направления и методы по решению вопроса децентрализации сети пневмоснабжения потребителей подземного рудника.

Ключевые слова: электротехнический комплекс, пневмоснабжение, компрессорные станции, децентрализация, распределенная система, подземный рудник, сжатый воздух.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-76-82

Подача сжатого воздуха для нужд подземного рудника (ПР) и шахтостроительного управления (ШСУ), в том числе бурового оборудования, закладочных работ, осуществляется от КС № 1, 2 по трем трубопроводам. В каждой из компрессорных станций подземного рудника установлены по четыре компрессора К-250-61-5 с электродвигателями мощностью 1600 кВт каждый. Фактическое производство сжатого воздуха за 2016 г. компрессорными станциями КС 1,2 составляет 391 610 787 м<sup>3</sup>, при потреблении электроэнергии в объеме 50 888,035 тыс. кВт · час.

Потребителям подземного рудника сжатый воздух подается централизованным способом, причем распределительные сети на горизонтах для подачи сжатого воздуха удаленным небольшим потребителям достигают нескольких километров. Давление у наиболее удаленных потребителей в зависимости от переменного отбора воздуха сильно колеблется, и поэтому центральная компрессорная станция не обеспечивает требуемые показатели рабочего давления воздуха, наличия влаги и т.д. Поэтому актуальной является задача распределенной выработки сжатого воздуха, и установка до-

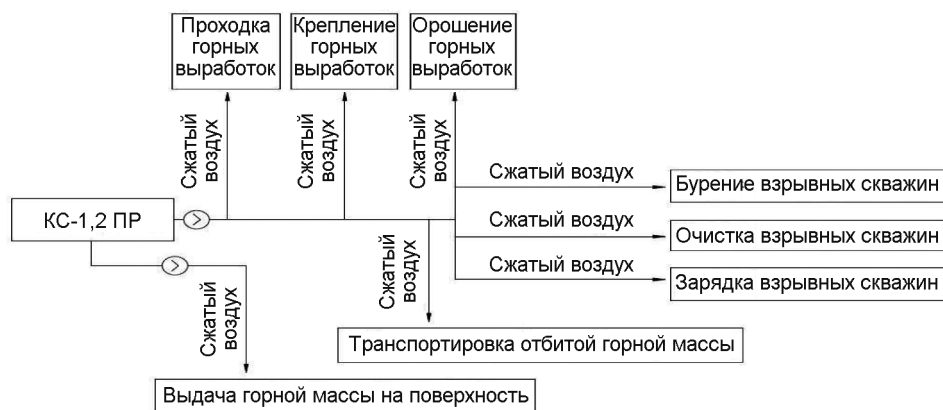


Рис. 1. Блок-схема энергетических потоков потребления сжатого воздуха

полнительных компрессоров на отдельных участках. Шахтная пневматическая сеть является соединительным звеном между компрессорной станцией, вырабатывающей сжатый воздух, и горными машинами и механизмами с пневмоприводом — потребителями сжатого воздуха. Прокладываемый по горным выработкам трубопровод сжатого воздуха эксплуатируется в неблагоприятных условиях, характеризующихся высокой влажностью окружающего воздуха, вызывающей коррозию труб, а также возможностью деформации крепи выработок, на которой монтируются трубы, что приводит к нарушению герметичности их соединений. В результате пневматические сети являются местом наибольших потерь энергии при эксплуатации шахтных пневмоустановок.

Различают три вида потерь энергии в пневмосетях:

- гидравлические, связанные с преодолением различного рода сопротивлений при движении сжатого воздуха по пневмосети;
- тепловые, связанные с охлаждением воздуха, протекающего по пневмосети;
- объемные, связанные с утечками, обусловленными негерметичностью пневмосетей.

Блок-схема энергетических потоков потребления сжатого воздуха представлена на рис. 1.

Для определения параметров вырабатываемого воздуха компрессорными станциями, снабжающими сжатым воздухом технологические комплексы подземного рудника в зависимости от температуры окружающей среды, рассмотрим его основные параметры на узле технического учета в зимний день 22.02.2017 г. и в летний день 28.06.2017 г. В данные дни температура окружающей среды соответственно была  $-12^{\circ}\text{C}$  и  $+32^{\circ}\text{C}$ .

Динамика изменения величин давления и потребления сжатого воздуха 22.02.2017 г. и 28.06.2017 г. представлена на рис. 2—5.

Проанализировав значения приведенных выше графиков и параметров, можно наблюдать резкопеременный характер нагрузки турбокомпрессоров из-за особенностей работы основных технологических комплексов подземного рудника.

Параметры сжатого воздуха (давление, расход) в сети трубопроводов для потребителей подземных горных работ подземного рудника ПАО «Гайский ГОК», полученные при сборе данных за летний и зимний периоды, представлены в графиках на рис. 6—7.

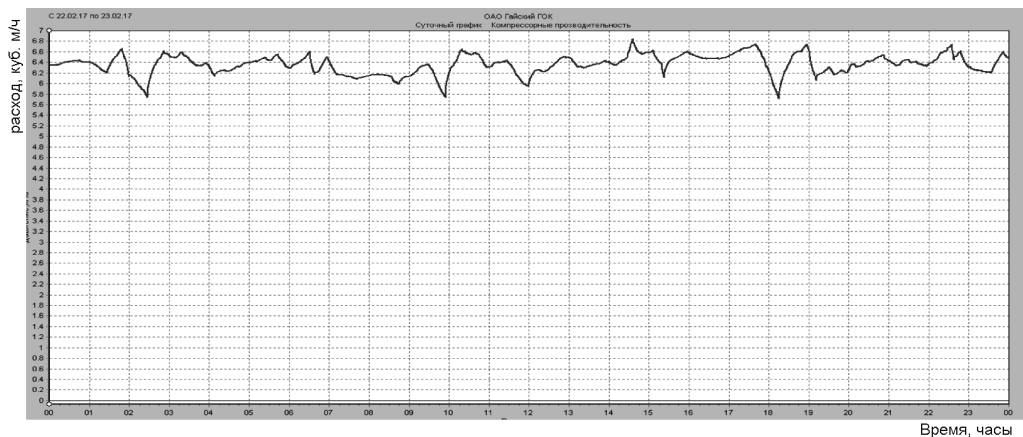


Рис. 2. Значение величины давления сжатого воздуха 22.02.2017 г.

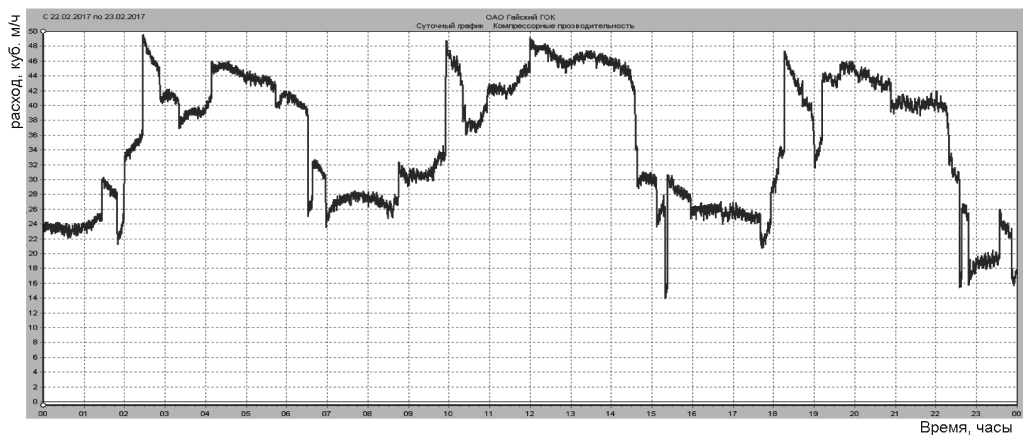


Рис. 3. Расход сжатого воздуха потребителей технологических комплексов 22.02.2017 г.

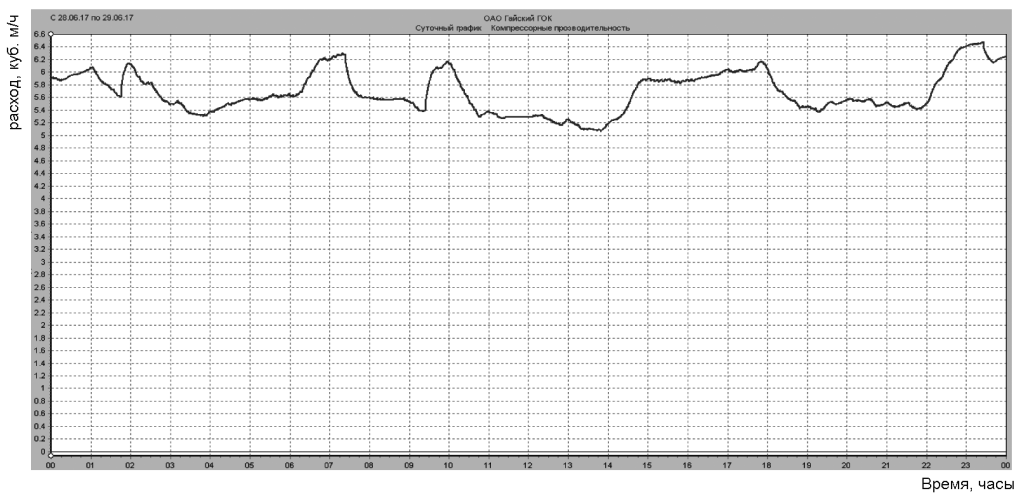


Рис. 4. Значение величины давления сжатого воздуха 28.06.2017 г.

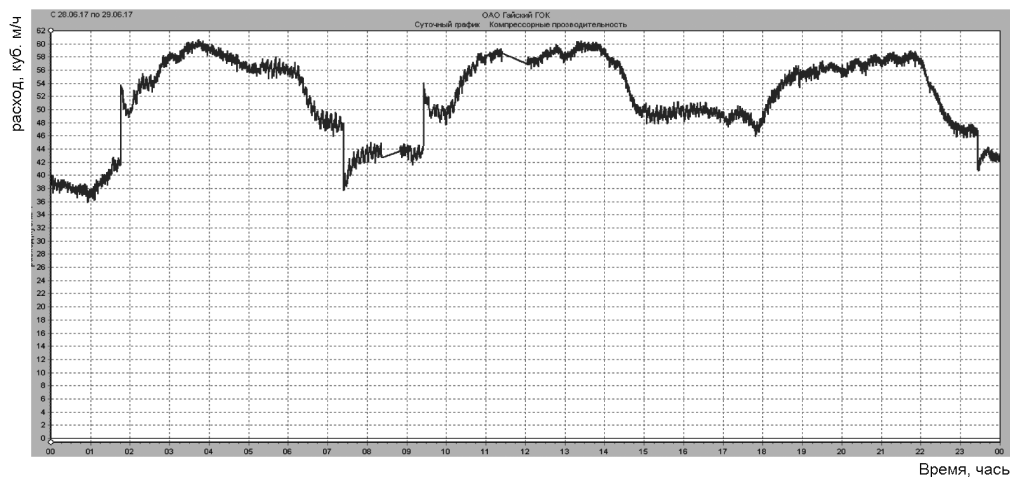


Рис. 5. Расход сжатого воздуха потребителей технологических комплексов 28. 06.2017 г.

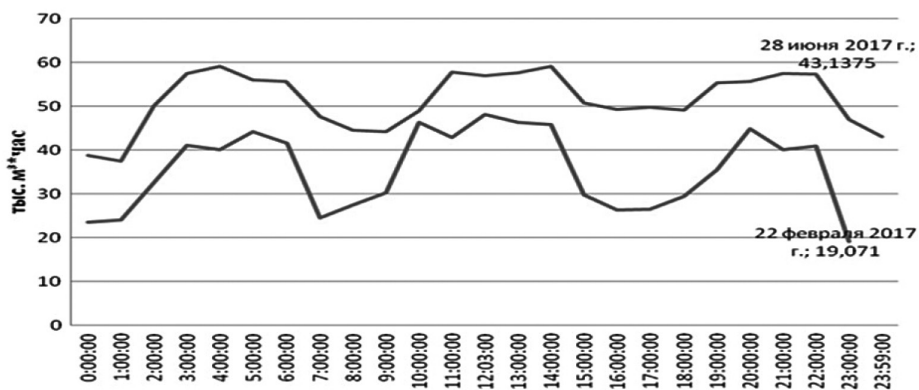


Рис. 6. Расход сжатого воздуха в зависимости от температуры окружающей среды

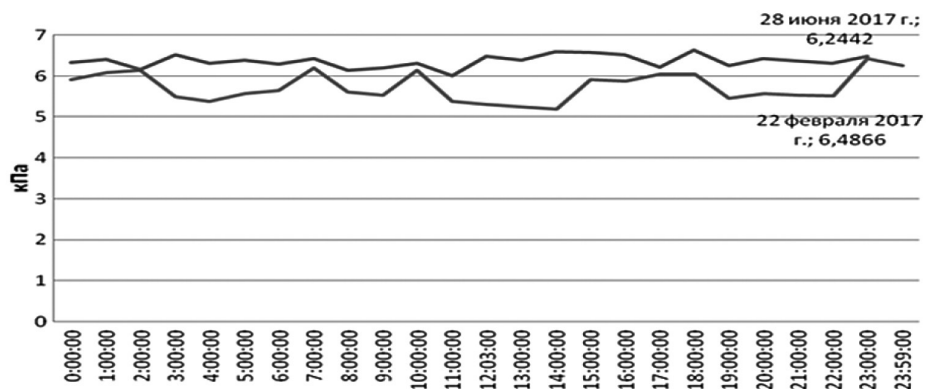


Рис. 7. Динамика изменения давления сжатого воздуха в зависимости от температуры окружающей среды

Для поддержания величины рабочего давления в магистрали сжатого воздуха в теплое время года, особенно в периоды, когда температура приближается к +30 °С, требуется увеличивать количество работающих турбокомпрессоров по причине снижения производительности компрессорной станции вследствие повышения температуры окружающей среды.

В случае установки компрессорных станций непосредственно в подземных выработках у технологических комплексов, потребляющих энергию сжатого воздуха, данные потери можно исключить, так как температура окружающего воздуха в этих местах изменяется в узком диапазоне и составляет в среднем +10÷+15 °С. Для оценки потерь энергии при работе компрессорной станции на пневматическую сеть горизонта 990 м подземного рудника разобьем данную технологическую сеть на три участка по диаметру трубопровода:

1 участок:  $l_1 = 1540$  м,  $d_1 = 500$  мм,

2 участок:  $l_2 = 450$  м,  $d_2 = 275$  мм,

3 участок:  $l_3 = 1500$  м,  $d_3 = 100$  мм  
и рассчитаем потери потребляемой мощности компрессора [6]:

- гидравлические потери:

$$P_1 = \sum_{i=1}^n \Delta p_i = \sum_{i=1}^n \lambda \frac{l_i v_i^2}{2d_i} \rho_1, \quad (1)$$

- тепловые потери:

$$P_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k(T_1 - T_x)}{\ln \frac{(T_1 - T_0)}{(T_x - T_0)}}, \quad (2)$$

- объемные потери:

$$V_0 = \frac{95 \cdot d^2 \cdot P_1}{\sqrt{T_1}}. \quad (3)$$

Суммарные потери по потребляемой мощности компрессора составят:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 =$$

$$331,3 + 14,44 + 460 = 805,74 \text{ кВт,}$$

что составляет 20 049 390 руб./год дополнительных расходов.

Устранение этих потерь может быть осуществлено децентрализацией снабжения пневматической энергией шахтных потребителей сжатого воздуха, а именно установкой винтовых компрессоров непосредственно перед полевыми штреками этажей, где они будут наименее подвержены неблагоприятному влиянию шахтной среды.

Использовать винтовой компрессор маслonaполненного типа вместо поршневого компрессора целесообразно, так как затраты на любой компрессор складываются из суммы, потраченной на его приобретение и монтаж, стоимости потребляемой им электроэнергии, стоимости расходных материалов, затрат на ремонт и стоимости необходимого дополнительного оборудования (например системы очистки сжатого воздуха).

### Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время на подземном руднике ПАО «Гайский ГОК» применяются две централизованные компрессорные станции, что приводит к большим финансовым затратам, на компенсацию потерь при производстве и передаче сжатого воздуха к потребителю, и невозможности поддерживать стабильные рабочие характеристики системы снабжения сжатым воздухом.

2. Предложено создать дополнительную распределенную систему снабжения сжатым воздухом потребителей подземного рудника.

3. Показано, что к установке следует принимать винтовой компрессор маслonaполненного типа вместо поршневого компрессора.

4. Определено направление работ, поставлены цели и задачи на дальнейшее исследование сетей пневмоснабжения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранников Н. М. Повышение эффективности рудничных компрессорных станций. — М.: Недра, 1972. — 173 с.
2. Герасименко Г. П. Комплексное использование пневматической энергии при отработке глубоких горизонтов. — М.: Недра, 1971. — 110 с.
3. Кузнецов Ю. В., Кузнецов М. Ю. Сжатый воздух. — Екатеринбург: УрО РАН, 2003. — 283 с.
4. Миняев Ю. Н. Энергетическое обследование пневмохозяйства промышленных предприятий. — Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. — 131 с.
5. Угольников А. В. Оптимизация режимов работы рудничных пневматических сетей: диссертация на соиск. уч. степени канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2006. — 181 с.
6. Герман А. П. Применение сжатого воздуха в горном деле. — М.: Госгеолнефтеиздат, 1933. — 88 с.
7. Докукин А. В. Применение сжатого воздуха в горной промышленности. — М.: Госгортехиздат, 1962. — 348 с.
8. Жаткин А. Н. Оценка эффективности утилизации вторичных энергоресурсов рудничных компрессорных установок с учетом несовершенства тепловых насосов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 7. — С. 388—392.
9. Ильичев А. С. Рудничные пневматические установки — М.: Углетехиздат, 1953. — 428 с.
10. Смородин С. С. Шахтные стационарные машины и установки. — М.: Недра, 1975. — 280 с.
11. Пластинин П. И. Поршневые компрессоры. Т. 1. Теория и расчет. — М.: Колос, 2000. — 456 с.
12. Федоров А. Д., Ристхейн Э. М. Электроснабжение промышленных предприятий. — М.: Энергия, 1981. — 360 с. **ГИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Липчанский Алексей Юрьевич* — главный энергетик, ШСУ ПАО «Гайский ГОК», e-mail: layu1979@yandex.ru,  
*Жаткин Александр Николаевич* — зам. главного энергетика, ПР ПАО «Гайский ГОК», e-mail: zhatkin87@mail.ru.

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 1, pp. 76–82.

**A.Yu. Lipchanskiy, A.N. Zhatkin**

## **ANALYSIS OF AIR POWER SUPPLY EFFICIENCY IN TERMS OF COMPRESSED AIR CONSUMERS IN GAISKY GOK MINE**

Compressed air is one of the main sources of energy to activate drilling, production and tunneling machines in underground mines.

At the same time, air power has a number of serious drawbacks. First of all, this is a high cost as compared with the electric power, which is explained by the high electric power consumption by compressors that generate compressed air. In underground mine of Gaisky Mining and Processing Plant (Gaisky GOK), compressed air flows from the compressor station to pneumatic receptors in long and branched pipelines.

Such flow is subjected to high energy loss under hydraulic resistances, temperature variations, pressure fluctuations in feeder lines and suffers from compressed air leakage. In the framework of energy saving and efficiency at Gaisky GOK, the ways and methods are proposed to solve the issue of decentralization of the compressed air supply network in underground mines.

Key words: electrotechnical system, compressed air supply, compressor stations, decentralization, distributed system, underground mine, compressed air.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-76-82

## AUTHORS

Lipchanskiy A.Yu.<sup>1</sup>, Chief Energy, e-mail: layu1979@yandex.ru,  
Zhatkin A.N.<sup>1</sup>, Deputy Chief Power Engineer, e-mail: zhatkin87@mail.ru,  
<sup>1</sup> PJSC «Gaisky GOK», Gai, Russia.

## REFERENCES

1. Barannikov N. M. *Povyshenie effektivnosti rudnichnykh kompressornykh stantsiy* (Improving the efficiency of mining compressor stations), Moscow, Nedra, 1972, 173 p.
2. Gerasimenko G. P. *Kompleksnoe ispol'zovanie pnevmaticheskoy energii pri otrabotke glubokikh gorizontov* (Comprehensive use of pneumatic energy in the development of deep horizons), Moscow, Nedra, 1971, 110 p.
3. Kuznetsov Yu. V., Kuznetsov M. Yu. *Szhatyy vozdukh* (Compressed air), Ekaterinburg, UrO RAN, 2003, 283 p.
4. Minyaev Yu. N. *Energeticheskoe obsledovanie pnevmokhozyaystva promyshlennykh predpriyatiy* (Energy survey of industrial enterprises pneumonocyte), Ekaterinburg, Izd-vo UGGA, 2003, 131 p.
5. Ugol'nikov A. V. *Optimizatsiya rezhimov raboty rudnichnykh pnevmaticheskikh setey* (Optimization of operating modes of pneumatic mining of networks), Candidate's thesis, Ekaterinburg, 2006, 181 p.
6. German A. P. *Primenenie szhatogo vozdukh v gornom dele* (Use of compressed air in mining), Moscow, Gosgeolnefteizdat, 1933, 88 p.
7. Dokukin A. V. *Primenenie szhatogo vozdukh v gornoy promyshlennosti* (Application of compressed air in the mining industry), Moscow, Gosgortekhizdat, 1962, 348 p.
8. Zhatkin A. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 7, pp. 388–392.
9. Il'ichev A. S. *Rudnichnye pnevmaticheskie ustanovki* (Mining pneumatic fitting), Moscow, Ugletekhizdat, 1953, 428 p.
10. Smorodin S. S. *Shakhtnye statsionarnye mashiny i ustanovki* (Mining stationary machines and installations), Moscow, Nedra, 1975, 280 p.
11. Plastinin P. I. *Porshnevye kompressory*. T. 1. *Teoriya i raschet* (Reciprocating compressors, vol. 1. Theory and calculation), Moscow, Kolos, 2000, 456 p.
12. Fedorov A. D., Ristkheyn E. M. *Elektrosnabzhenie promyshlennykh predpriyatiy* (Power supply of industrial enterprises), Moscow, Energiya, 1981, 360 p.

## FIGURES

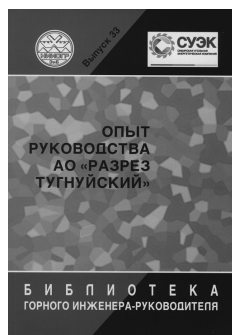
- Fig. 1. Process chart of compressed air energy pathways.  
Fig. 2. Compressed air pressure value on Feb 22, 2017.  
Fig. 3. Compressed air flow rate at technological consumers on Feb 22, 2017.  
Fig. 4. Compressed air pressure value on June 28, 2017.  
Fig. 6. Compressed air flow rate depending on ambient temperature.  
Fig. 7. Time history of compressed air pressure depending on ambient temperature.



---

## НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»

---



**Опыт руководства АО «Разрез Тугнуйский».**  
**Библиотека горного инженера-руководителя. Выпуск № 33**

Год: 2017

Страниц: 88

ISBN: 0236-1493

UDK: 622.8

Сборник содержит материалы интервью, раскрывающие профессиональный и жизненный опыт, накопленный руководителями АО «Разрез Тугнуйский». Представленные размышления и взгляды руководителей на актуальные вопросы организации производства и управления персоналом угледобывающего предприятия будут полезны тем, кто формирует собственную модель успешного управления или стремится освоить руководство как функцию и роль.