

## Раздел III. Методы и средства управления и контроля

УДК 622.663.3 + 519.24

DOI 10.23683/2311-3103-2018-6-131-137

Г.Б. Лялькина, А.В. Николаев, Н.С. Макарычев

### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО УПРАВЛЕНИЮ РАБОТОЙ ГЛАВНОЙ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ РУДНИКА

*Для обеспечения безопасных условий труда горнорабочих на подземных горнодобывающих предприятиях в горные выработки в необходимом количестве должен поступать свежий воздух. При помощи главной вентиляторной установки (ГВУ) производится принудительное вентилирование. Наряду с работой ГВУ действует общерудничная (общешахтная) естественная тяга, которая либо способствует, либо препятствует поступлению воздуха в шахту. При этом в определенных условиях естественная тяга может достигать значительных по величине значений, нарушая при этом режим подачи требуемого объема воздуха в подземные горные выработки. Следовательно, естественную тягу необходимо учитывать с целью регулирования процесса проветривания для обеспечения безопасности ведения горных работ. Целью работы является определение величины и направления естественной тяги, а также выбор оптимального режима работы ГВУ, а именно: снижение производительности ГВУ в том случае, когда действие естественной тяги положительно, и, соответственно, увеличение производительности при отрицательной тяге. Статья содержит результаты эксперимента, выполненного на одном из рудников Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Представлена уточненная методика расчета величины общерудничной естественной тяги и ее направления при заданной доверительной вероятности. С целью обеспечения точности и достоверности дальнейших расчетов методика содержит обязательную первичную статистическую обработку опытных данных, включающую процедуру проверки результатов измерений на ложность, а также оценку однородности дисперсий в выборочной совокупности. Анализ полученных опытных данных показал, что в момент проведения эксперимента действовала отрицательная естественная тяга. Для ее компенсации необходимо было повысить производительность ГВУ для обеспечения безопасности горнорабочих.*

*Безопасность подземных работ; общерудничная естественная тяга; главная вентиляторная установка; управление; статистический анализ.*

G.B. Lyalkina, A.V. Nikolaev, N.S. Makarychev

### STATISTICAL ANALYSIS OF THE EXPERIMENT IN CONTROLLING THE PERFORMANCE OF THE MAIN MINE FAN

*To ensure safe working conditions for miners in underground mining enterprises, fresh air must be supplied to the mine workings in the required amount. Forced ventilation is produced with a help of the main mine fan (MMF). Along with the work of the MMF general natural mine draft acts, and it either promotes or impedes the flow of air into the mine. At the same time, under certain conditions, the natural mine draft can reach significant values and violate supply of the required volume of fresh air to underground mining. Therefore, the natural draft must be taken into account in order to regulate the ventilation process to ensure the safety of mining operations. The purpose of the work is to determine the magnitude and direction of the natural draft, as well as the choice of the optimal mode of operation of the MMF, namely: reducing the performance of the MMF (in the case when the action of natural traction is positive), and, accordingly, increasing the performance (when the action of traction is negative). The article contains the results of an experiment carried out at one of the mines of the Verkhnekamskoye Deposit of potassium and magnesium salts. A refined method of calculating the value of the natural mine draft and its direc-*

*tion at a preset confidence probability is presented. In order to ensure the accuracy and reliability of further calculations, the method contains a mandatory primary statistical processing of experimental data, including a procedure for checking the measurement results for falsity, as well as an assessment of the homogeneity of the variances in the sample.*

*Underground works safety; natural mine draft; control of main mine fan; statistical processing.*

**Введение.** Проветривание подземных горнодобывающих предприятий с помощью главной вентиляторной установки (ГВУ) – один из способов обеспечения безопасных условий труда горнорабочих [1–3].

На работу ГВУ расходуется порядка 30–50 % от всей затрачиваемой горным предприятием электроэнергии в год, и потому процесс проветривания необходимо производить в энергосберегающем режиме [4–15]. Для обеспечения максимальной эффективности проветривания необходимо подавать воздух в рудник (шахту) в требуемом объеме, не превышая его. Внедрение автоматизированных систем управления проветриванием позволит обеспечить эффективное проветривание без превышения требуемого объема подаваемого воздуха, а необходимая информация должна поступать с датчиков расхода и давления в оперативном режиме.

Кроме того, отметим, что процесс проветривания зависит от изменения внешних факторов, поэтому их также необходимо отслеживать и своевременно обрабатывать в режиме реального времени. Поступающая информация позволяет формировать базу данных, с помощью которой можно прогнозировать изменения текущих параметров и выполнять управление оптимальным способом. При этом естественная тяга, меняя свою величину и направление, является одним из важных факторов, влияющих на работу ГВУ. Реализация процесса проветривания в автоматизированном режиме возможно только при создании информационной базы данных, обеспечивающей достоверность, точность и достаточную полноту совокупности экспериментальных результатов.

**Описание эксперимента.** С целью разработки методики формирования информационной базы данных на БКПРУ-2 (ПАО «Уралкалий») был выполнен натурный эксперимент, в ходе которого были проведены измерения производительности ГВУ  $Q_B$  и величины соответствующей общешахтной депрессии  $h_B$  при различных скоростях вращения рабочего колеса вентилятора.

Эксперимент был проведен 6 июля 2016 года. Параметры наружного воздуха были следующими: атмосферное давление  $P_a = 737.0$  мм рт. ст. (98258.6 Па), температура  $t = 21.8$  °С (294.95 К). Всего в эксперименте было выполнено 9 серий измерений. При этом каждая из серий было зафиксировано по 8-10 значений производительности  $Q_B$  ГВУ и соответствующих значений общешахтной депрессии  $h_B$  (табл. 1).

На проведение девяти серий измерений было затрачено порядка 20 минут (т.е. на каждую отдельную серию затрачивалось около двух минут, в течение которых и было зафиксировано около 10 значений  $Q_B$  и  $h_B$ ). Краткая продолжительность времени, отведенного на проведение эксперимента, обусловлена необходимостью избежать значительных изменений внешних параметров (параметров наружного воздуха), таких как температура, атмосферное давление, относительная влажность и т.п., оказывающих на величину  $h_c$  значительное влияние.

**Предварительная обработка эксперимента.** Обработку первичной выборочной совокупности необходимо начинать с процедуры исключения так называемых «ложных» данных, которые могут возникнуть из-за случайных возмущений внешней и внутренней среды и потому привести к неверным выводам [16–18]. Подробная методика выявления «ложных» данных представлена в работах [19, 20]. В итоге проверки в полной совокупности опытных данных, полученных в ходе проведенного было выявлено всего 5 ложных экспериментальных значений производительности ГВУ  $Q_B$  и соответствующих значений общешахтной депрессии  $h_B$ , которые были исключены из дальнейшего рассмотрения.

Таблица 1

Результаты измерений (лето)

№ серии	Результаты измерений										
	$Q_{ГВУ}, \text{м}^3/\text{с}$	413	398	416	413	387	364	413	417	-	-
1	$h_{ГВУ}, \text{Па}$	2618.30	2618.30	2667.34	2628.11	2657.53	2637.92	2628.11	2618.30	-	-
	$Q_{ГВУ}, \text{м}^3/\text{с}$	376	371	363	373	374	360	375	375	359	362
2	$h_{ГВУ}, \text{Па}$	2304.50	2284.89	2314.31	2294.69	2343.72	2275.08	2324.11	2284.89	2265.27	2284.89
	$Q_{ГВУ}, \text{м}^3/\text{с}$	367	343	344	352	336	336	349	335	344	351
3	$h_{ГВУ}, \text{Па}$	2029.92	1980.89	2039.73	2039.73	2029.92	2039.73	2020.11	2000.50	2039.73	2010.31
	$Q_{ГВУ}, \text{м}^3/\text{с}$	296	307	312	306	303	295	310	315	296	328
4	$h_{ГВУ}, \text{Па}$	1745.54	1735.73	1774.95	1784.76	1745.54	1804.37	1755.34	1765.15	1774.95	1765.15
	$Q_{ГВУ}, \text{м}^3/\text{с}$	301	299	312	302	296	314	315	324	322	313
5	$h_{ГВУ}, \text{Па}$	1676.89	1676.89	1686.70	1676.89	1706.31	1686.70	1725.92	1725.92	1725.92	1725.92
	$Q_{ГВУ}, \text{м}^3/\text{с}$	287	283	279	293	272	260	263	273	266	279
6	$h_{ГВУ}, \text{Па}$	1480.76	1529.80	1500.38	1490.57	1500.38	1470.96	1490.57	1500.38	1500.38	1480.76
	$Q_{ГВУ}, \text{м}^3/\text{с}$	235	221	254	247	249	244	266	270	243	249
7	$h_{ГВУ}, \text{Па}$	1294.44	1314.05	1323.86	1274.83	1314.05	1304.25	1314.05	1294.44	1284.64	1284.64
	$Q_{ГВУ}, \text{м}^3/\text{с}$	224	231	226	226	224	225	217	224	225	225
8	$h_{ГВУ}, \text{Па}$	1078.70	1068.90	1049.28	1068.90	1068.90	1078.70	1068.90	1068.90	1059.09	1049.28
	$Q_{ГВУ}, \text{м}^3/\text{с}$	191	207	206	198	197	198	196	201	204	194
9	$h_{ГВУ}, \text{Па}$	882.57	872.77	862.96	882.57	872.77	862.96	862.96	853.16	853.16	862.96

Серии: № 1 –  $n_1 = 375$  об/мин; № 2 –  $n_2 = 350$  об/мин; № 3 –  $n_3 = 325$  об/мин; № 4 –  $n_4 = 300$  об/мин; № 5 (нормальный режим работы) –  $n_5 = 295$  об/мин; № 6 –  $n_6 = 275$  об/мин; № 7 –  $n_7 = 250$  об/мин; № 8 –  $n_8 = 225$  об/мин; № 9 –  $n_9 = 200$  об/мин.

Далее необходимо проверить, все ли опытные данные получены с одинаковой точностью, т.е. проверить однородность дисперсий данных в оставшейся выборочной совокупности. Так как эксперимент длился всего 20 минут, то можно ожидать, что результаты измерений были получены в практически одинаковых условиях и с одинаковой точностью. Но в общем случае точность измерений может существенно изменяться при переходе от одной серии измерений к другой, так как нет гарантии, что все серии выполнены в одинаковых условиях и на результатах не скажутся случайные обстоятельства. Поэтому ниже в краткой форме представлен алгоритм проверки однородности дисперсий в полной совокупности экспериментальных данных и приведены результаты проверки однородности данных рассматриваемого эксперимента.

**Проверка однородности дисперсий в выборочной совокупности результатов эксперимента.** Оценка однородности дисперсий выполняется с помощью исправленной (ввиду малого объема выборки) выборочной дисперсии  $D_{испр} = S^2$ .

Сравнение выполняется по каждой из пар строк табл. 1.

Оценка однородности дисперсий выполняется с помощью критерия Фишера  $F$ . Опытное значение  $F^{оп}$  критерия Фишера вычисляется по следующей формуле [19, 20]:

$$F^{оп} = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \quad (1)$$

где в числителе дроби располагается большая из дисперсий.

Далее опытное значение критерия Фишера  $F^{\text{оп}}$  необходимо сравнить его с критическим значением  $F_{\text{кр}}(\alpha; k_1; k_2)$ , которое ищется в статистических таблицах при заданном уровне значимости  $\alpha$  и заданных значениях чисел степеней свободы  $k_1, k_2$ . Ниже в расчетах принято значение  $\alpha=0.05$ .

Если  $F^{\text{оп}} > F_{\text{кр}}(\alpha; k_1; k_2)$ , то дисперсии в сравниваемых сериях следует считать неоднородными, то есть эти измерения выполнены с различной степенью точности и их нельзя включать в единую базу данных. Поэтому, если в ходе обработки данных встречается серия с дисперсией, отличной от полученных в других сериях, то ее требуется исключить из базы экспериментальных данных, а в случае необходимости соответствующие эксперименты – повторить.

Аналогичную обработку данных необходимо выполнить также для каждой из серий опытных значений статического давления  $h_{\text{ГВУ}}$ , развиваемого ГВУ. В результате в итоговой совокупности должны оставаться серии с однородными дисперсиями, что гарантирует достоверность последующих расчетов и результатов анализа.

Отметим, что в рассматриваемом эксперименте, несмотря на его малую длительность, в результате проверки на однородность дисперсий, точность экспериментальных данных в седьмой, восьмой и девятой сериях оказалась различной, и эти серии пришлось удалить из выборочной совокупности. Потому в итоговой выборочной совокупности опытных данных было оставлено только шесть серий с однородными дисперсиями.

**Корреляционно-регрессионный анализ.** После первичной обработки выборочной совокупности можно приступить к основному этапу исследования – корреляционно-регрессионному анализу результатов эксперимента с целью оценки величины и направления естественной тяги  $h_e$ .

Для этого в полученной выборочной совокупности необходимо вычислить средние значения  $\overline{Q_{\text{ГВУ}}}$  расхода воздуха, поступающего в рудник, и соответствующего значения статического давления  $\overline{h_{\text{ГВУ}}}$  для каждой из оставшихся серий. После этого можно приступить непосредственно к корреляционно-регрессионному анализу.

В табл. 2 представлены средние значения  $\overline{Q_{\text{ГВУ}i}}$  производительности ГВУ  $Q_{\text{ГВУ}}$  и средние значения  $\overline{h_{\text{ГВУ}i}}$  статического давления  $h_{\text{ГВУ}}$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ) для каждой из 6 серий, оставшихся после первичной статистической обработки выборочной совокупности экспериментальных данных.

Таблица 2

Средние значения производительности ГВУ  $\overline{Q_{\text{ГВУ}i}}$  и статического давления  $\overline{h_{\text{ГВУ}i}}$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ )

№ серии	1	2	3	4	5	6
$\overline{Q_{\text{ГВУ}i}}$	408,14	368,80	343,33	304,44	309,80	275,50
$\overline{h_{\text{ГВУ}i}}$	2633,71	2297,64	2022,29	1765,15	1701,41	1494,49

Необходимые формулы для применения стандартных процедур корреляционно-регрессионного анализа к расчету величины и направления естественной тяги содержатся в работах авторов [5–6].

Соответствующие результаты расчетов по данным, представленным в табл. 2, дают следующие оценки величин  $h_e$  естественной тяги и аэродинамического сопротивления  $R_{\text{руд}}$  рудника соответственно:  $h_e=539.20$  Па,  $R_{\text{руд}}=0.0127(\text{Н}\cdot\text{с}^2)/\text{м}^8$ .

Таким образом, значения естественной тяги  $h_e$  с доверительной вероятностью  $p=1-\alpha=0.95$  лежат в (доверительном) интервале:

$$h_e \in (351.49; 726.91).$$

В данном случае оказалось, что границы доверительного интервала имеют положительный знак, что указывает на отрицательное действие естественной тяги  $h_e$ . Следовательно, для полной компенсации влияния противодействующей естественной тяги  $h_e$  и обеспечения безопасности горнорабочих производительность ГВУ необходимо повысить, по крайней мере, на величину  $h_e=726,91$  Па.

Представленная методика оценки величины и направления естественной тяги обеспечивает возможность оперативного управления процессом проветривания рудника путем изменения производительности ГВУ.

**Выводы.** Анализ численных результатов эксперимента по управлению ГВУ рудника указывает, что на результаты измерений заметное влияние оказывают случайные факторы. Использование методов первичной статистической обработки позволяет исключить так называемые «ложные» данные из исходной выборочной совокупности результатов измерений, а также обеспечить точность дальнейших расчетов с заданной доверительной вероятностью.

Последующий корреляционно-регрессионный анализ позволяет оценить величину и направление естественной тяги и, следовательно, ее значимость в процессах управления работой ГВУ, обеспечивая достаточное проветривание и безопасность ведения горных работ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мохирев Н.Н., Радько В.В.* Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 324 с.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Серия 03. Вып. 78. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 276 с.
3. *Комаров В.Б., Килькеев Ш.Х.* Рудничная вентиляция. – М.: Недра, 1969. – 416 с.
4. *Красноштейн А.Е., Казаков Б.Л., Шалимов А.В.* К моделированию сложных аэрогазотермодинамических процессов в атмосфере // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2008. – № 6. – С. 105-111.
5. *Bruce W.E.* Natural draft: its measurement and modeling in underground mine ventilation systems. – US: Dept. of Labor, Mine Safety and Health Administration, 1986. – 34 p.
6. *Linden P.F.* The fluid mechanics of natural ventilation // Annual Review of Fluid Mechanics. – 1999. – Vol. 31. – P. 201-238.
7. *Alymenko N.I., Nikolaev A.V.* Influence of mutual alignment of mine shafts on thermal drop of ventilation pressure between the shafts // Journal of Mining Science. – 2011. – Vol. 47, No. 5. – P. 636-642.
8. *Левин Л.Ю., Семин М.А., Газизуллин Р.Р.* Численное моделирование изменения воздухо-распределения в рудничных вентиляционных сетях при реверсировании главной вентиляторной установки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 12. – С. 164-170.
9. *Jianwei Cheng, Yan Wu, Haiming Xu, Jin Liu, Yekang Yang, Huangjun Deng, Yi Wang.* Comprehensive and integrated mine ventilation consultation model // Tunneling and Underground Space Technology. – 2015. – Vol. 45. – P. 166-180.
10. *Hanjalic K., Launder B.E.* A Reynolds stress model of turbulence and its application to thin shear flows // J. Fluid Mech. – 1972. – Vol. 52, No. 4. – P. 609-638.
11. *Van Ulden, Holtslag A.* Estimation of Atmospheric Boundary Layer Parameters for Diffusion Applications // J. Clim. Appl. Meteorol. – 1985. – Vol. 24. – P. 1196-1207.
12. *Kempson W.J., Webber-Youngman R.C.W., Meyer J.P.* Optimising shaft pressure losses through computational fluid dynamic modeling // Applied Thermal Engineering. – 2015. – Vol. 90. – P. 1098-1108. DOI:10.1016/j.applthermalend.2015.04.058.

13. Gendler S.G. The justification of new technique ventilation at contraction of working with two exits in soil surface // Eurasian Mining. – 2016. – No. 2. – P. 41-44. DOI:10.17580/em.2016.02.10.
14. Николаев А.В., Файнбург Г.З. Об энерго- и ресурсосберегающем проветривании подземных горных выработок // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 14. – С. 92-98. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.10.
15. Николаев А.В. Зависимость потребления электроэнергии главной вентиляционной установки от способа проветривания добычных участков калийных рудников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2011. – № 1. – С. 143-151.
16. Лялькина Г.Б., Бердышев О.В. Математическая обработка результатов эксперимента: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 78 с.
17. Трусов П.В. Введение в математическое моделирование. – М.: Логос, 2005. – 440 с.
18. Чигиринская Н.В. Общие принципы конструирования когерентно-стохастических учебных задач как средства развития стохастической культуры студентов технического вуза // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 1. – С. 121.
19. Лялькина Г.Б., Николаев А.В., Макарычев Н.С. Методика расчета величины и направления общерудничной естественной тяги с заданной доверительной вероятностью // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 81-88.
20. Lyalkina G.B., Nikolaev A.V., Makarychev N.S. Creation of the Information System Based on Experimental Data for Control of the MMF Operating Modes to Improve the Efficiency of Ventilation in Mines // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1059. – Art. 012013. 8 p. – DOI 10.1088/1742-6596/1059/1/012013., Web of Science.

## REFERENCES

1. Mokhirev N.N., Rad'ko V.V. Inzhenernye raschety ventilyatsii shakht. Stroitel'stvo. Rekonstruktsiya. Jeksploatatsiya [Engineering calculations of mine ventilation. Building. Reconstruction. Exploitation]. Moscow: ООО «Nedra-Biznescentr», 2007, 324 p.
2. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh» [Federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety rules for mining and processing of solid minerals"]. Seriya 03. Issue 78. Moscow: ZAO «Nauchno-tehnicheskii centr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti», 2014, 276 p.
3. Komarov V.B., Kil'keev Sh.H. Rudnichnaya ventilyatsiya [Mine ventilation]. Moscow: Nedra, 1969, 416 p.
4. Krasnoshteyn A.E., Kazakov B.P., Shalimov A.V. K modelirovaniyu slozhnykh aerogazotermodynamicheskikh processov v atmosphere [To the modeling of complex aero-gas-thermodynamic processes in the atmosphere], *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mining], 2008, No. 6, pp. 105-111.
5. Bruce W.E. Natural draft: its measurement and modeling in underground mine ventilation systems. US: Dept. of Labor, Mine Safety and Health Administration, 1986, 34 p.
6. Linden P.F. The fluid mechanics of natural ventilation, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 1999, Vol. 31, pp. 201-238.
7. Alymenko N.I., Nikolaev A.V. Influence of mutual alignment of mine shafts on thermal drop of ventilation pressure between the shafts // Journal of Mining Science. – 2011. – Vol. 47, No. 5. pp. 636-642.
8. Levin L.Ju., Semin M.A., Gazizullin R.R. Chislennoe modelirovanie izmeneniya vozduhoraspredeleniya v rudnichnykh ventilyacionnykh setyakh pri reversirovaniy glavnoy ventilyatornoj ustanovki [Numerical simulation of air distribution variation in mine ventilation networks in case of main fan reversal], *Gornyy informacionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2015, No. 12, pp. 164-170.
9. Jianwei Cheng, Yan Wu, Haiming Xu, Jin Liu, Yekang Yang, Huangjun Deng, Yi Wang. Comprehensive and integrated mine ventilation consultation model, *Tunneling and Underground Space Technology*, 2015, Vol. 45, pp.166-180.
10. Hanjalic K., Launder B.E. A Reynolds stress model of turbulence and its application to thin shear flows, *J. Fluid Mech.*, 1972, Vol. 52, No. 4, pp. 609-638.

11. *Van Ulden, Holtslag A.* Estimation of Atmospheric Boundary Layer Parameters for Diffusion Applications, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 1985, Vol. 24, pp. 1196-1207.
12. *Kempson W.J., Webber-Youngman R.C.W., Meyer J.P.* Optimising shaft pressure losses through computational fluid dynamic modeling, *Applied Thermal Engineering*, 2015, Vol. 90, pp. 1098-1108. DOI:10.1016/j.applthermalend.2015.04.058.
13. *Gendler S.G.* The justification of new technique ventilation at contraction of working with two exits in soil surface, *Eurasian Mining*, 2016, No. 2, pp. 41-44. DOI:10.17580/em.2016.02.10.
14. *Nikolaev A.V., Faynburg G.Z.* Ob energo- i resursosberegayushchem provetrivanii podzemnykh gornykh vyrabotok [On energy and resource-saving of underground oil mine workings], *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo* [Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering], 2015, No. 14, pp. 92-98. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.10.
15. *Nikolaev A.V.* Zavisimost' potrebleniya elektroenergii glavnoy ventilyatornoj ustanovki ot sposoba provetrivaniya dobychnykh uchastkov kaliynykh rudnikov [The influence of consumption electric power is spent for work main ventilation installation from the way ventilation underground mountain developments the potash mines], *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo* [Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering], 2011, No. 1, pp. 143-151.
16. *Lyalkina G.B., Berdyshev O.V.* Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov eksperimenta [Mathematical processing of experimental results]: ucheb. posobie. Perm': Izd-vo Perm. nac. issled. politehn. un-ta, 2013, 78 p.
17. *Trusov P.V.* Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie [Introduction to Mathematical Modeling]. Moscow: Logos, 2005, 440 p.
18. *Chigirinskaya N.V.* Obshhie printsipy konstruirovaniya kogerentno-stokhasticheskikh uchebnykh zadach kak sredstva razvitiya stokhasticheskoy kul'tury studentov tekhnicheskogo vuza [Coherent and stochastic learning objectives - the means for the development of stochastic culture of technical university students: general design principles], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2017, No. 1, pp. 121.
19. *Lyalkina G.B., Nikolaev A.V., Makarychev N.S.* Metodika rascheta velichiny i napravleniia obshcherudnichnoi estestvennoi tiagi s zadannoi doveritel'noi veroiatnostiu [Method of calculation of volume and direction of general mine natural draft with confident probability], *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo* [Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering], 2018, Vol. 17, No. 2, pp. 81-88.
20. *Lyalkina G.B., Nikolaev A.V., Makarychev N.S.* Creation of the Information System Based on Experimental Data for Control of the MMF Operating Modes to Improve the Efficiency of Ventilation in Mines, *IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series*, 2018, Vol. 1059. Art. 012013. 8 p. DOI 10.1088/1742-6596/1059/1/012013., Web of Science.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.П. Тарасов.

**Лялькина Галина Борисовна** – Пермский национальный исследовательский политехнический университет; e-mail: bg@pstu.ru; 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; кафедра безопасности жизнедеятельности; д.ф.-м.н.; профессор.

**Николаев Александр Викторович** – e-mail: nikolaev0811@mail.ru; тел.: + 0079082414019; кафедра горной электромеханики; к.т.н.; доцент.

**Макарычев Никита Сергеевич** – e-mail: nmakarychev@mail.ru; кафедра горной электромеханики; студент.

**Lyalkina Galina Borisovna** – Perm National Research Polytechnic University; e-mail: bg@pstu.ru; 29, Komsomol'skiy pr., Perm', 614990, Russia; the department of life safety; dr of phys. and math. sc.; professor.

**Nikolaev Aleksandr Viktorovich** – e-mail: nikolaev0811@mail.ru; phone: + 0079082414019; the department of mining electronics and mechanics; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Makarychev Nikita Sergeevich** – e-mail: nmakarychev@mail.ru; the department of mining electronics and mechanics; student.