

УДК 622.663.3+519.24+331.45

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

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

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

**ВЛИЯНИЕ ВЫБРАННОГО УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ
НА ОЦЕНКУ ДОВЕРИТЕЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕЛИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ
ОБЩЕРУДНИЧНОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ**

**THE INFLUENCE OF THE SELECTED SIGNIFICANCE LEVEL
ON THE ESTIMATION OF THE CONFIDENCE INTERVAL
IN DETERMINING THE MAGNITUDE AND DIRECTION
OF THE MAIN NATURAL DRAFT**

При проветривании подземных горнодобывающих предприятий совместно с главной вентиляторной установкой (ГВУ) действует общерудничная (общешахтная) естественная тяга, которая может существенно влиять на проветривание. Данный факт необходимо учитывать при регулировании режима проветривания для обеспечения безопасных условий ведения горных работ.

Статья содержит методику расчета величины и направления общерудничной естественной тяги с заданной доверительной вероятностью. Приведены примеры расчета величины соответствующих доверительных интервалов для статистической оценки значений естественной тяги. Представлен пример влияния уровня значимости на значения границ доверительного интервала.

Ключевые слова: общерудничная (общешахтная) естественная тяга, доверительная вероятность, главная вентиляторная установка, управление, безопасность.

When ventilating underground mining enterprises, simultaneously with the operation of the main ventilation installation (MVI), a general natural draught acts, and it affects the ventilation substantially. This circumstance must be taken into account when regulating the ventilation process to ensure safe mining conditions.

In the article the methodic of evaluating the value of the general natural draught and its direction with a preset confidence probability is presented. Examples of calculation of the corresponding confidence intervals for statistical estimation of natural draught values are given. An example of the significance level's influence on values of the confidence interval's limits is given.

Keywords: general natural draught in a mine, confidence probability, main ventilation installation, control, safety.

Для обеспечения безопасности труда горнорабочих на подземных горнодобывающих предприятиях помимо различных предварительных работ по снижению или полному исключению воздействия на горнорабочих негативных факто-

ров необходимо осуществлять проветривание подземных горных выработок с целью снижения в рабочих зонах концентрации вредных и опасных газов. Объемный расход воздуха, необходимый для функционирования рудника (шахты), определяется в соответствии с числом людей, находящихся одновременно в подземных горных выработках, а также в зависимости от интенсивности выделения ядовитых, горючих газов и пыли, минимальной скорости движения воздуха и других факторов, актуальных для конкретного горнодобывающего предприятия [1]. В связи с этим для поддержания безопасных условий труда в рудник (шахту) в необходимом количестве должен поступать свежий воздух.

Для подачи воздуха в рудник (шахту) используется главная вентиляторная установка (ГВУ). Совместно с ГВУ между шахтными стволами действует общешахтная (общерудничная) естественная тяга h_e , которая оказывает влияние на ее работу, увеличивая, если направление действия тяги совпадает с требуемым направлением движения воздуха, либо снижая производительность Q_v вентилятора [2]. Для управления работой ГВУ необходимо учитывать изменение текущих параметров, определяющих аэродинамическое сопротивление рудника, и значение общерудничной (общешахтной) естественной тяги h_e . Способы ее расчета требуют использования методов математической статистики [3–6].

Для определения величины и направления общерудничной (общешахтной) естественной тяги h_e в настоящей работе за основу взят метод, изложенный в работах [6, 7]. Данный метод заключается в отыскании уравнения регрессии, т.е. зависимости статического давления h_b , развиваемого ГВУ, от ее производительности Q_v .

Уравнение регрессии предполагается линейным относительно координат (h_b ; Q_v^2):

$$h_b = h_e + R_{\text{руд}} Q_v^2. \quad (1)$$

Искомые коэффициенты уравнения: $R_{\text{руд}}$ – аэродинамическое сопротивление рудника (шахты), $(\text{Н}\cdot\text{с}^2)/\text{м}^8$; h_e – значение общерудничной естественной тяги, Па.

После проверки наличия корреляционной связи между h_b и Q_v^2 можно приступить к процедурам поиска коэффициентов уравнения (1).

Из работ [6, 7] известно, что коэффициенты h_e и $R_{\text{руд}}$ можно найти из уравнения (1) с помощью метода наименьших квадратов по следующим формулам:

$$R_{\text{руд}} = \frac{\overline{Q_v^2 h_b} - \overline{Q_v^2} \overline{h_b}}{\overline{Q_v^4} - (\overline{Q_v^2})^2}, \quad (2)$$

$$h_e = \overline{h_b} - R_{\text{руд}} \overline{Q_v^2}. \quad (3)$$

Исходные экспериментальные данные подвержены влиянию случайных обстоятельств и неточностей результатов измерений и потому являются нечеткими величинами. Следовательно, результаты расчетов по формулам (2) и (3) необходимо оценивать с заранее заданной доверительной вероятностью, которая позволит указать реальный разброс возможных значений расчетных величин общерудничной естественной тяги h_e и аэродинамического сопротивления рудника $R_{руд}$.

Для этого необходимо выполнить проверку значимости расчетного значения h_e и оценку величины соответствующего доверительного интервала при заданном уровне значимости α .

При заданном уровне значимости α определяем критическое значение t -критерия Стьюдента $t_\alpha^{кр} = t(\alpha; n - 2)$, которое ищется в статистических таблицах, при числе свободы $n - 2$, где n – объем выборочной совокупности опытных данных.

По следующим формулам вычислим опытное значение критерия Стьюдента $t_{h_e}^{оп}$ через стандартную ошибку m_{h_e} параметра h_e [6, 7]:

$$t_{h_e}^{оп} = \frac{h_e}{m_{h_e}}, \quad m_{h_e} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - R_{руд} Q_{вi}^2 - h_e)^2}{(n-2)n} \frac{\sum_{i=1}^n Q_{вi}^4}{\sum_{i=1}^n (Q_{вi}^2 - \bar{Q}_{в}^2)^2}}.$$

Тогда возможны два варианта:

1. Если $t_{h_e}^{оп} < t_\alpha^{кр}$, то естественная тяга h_e незначима и ее принимают равной нулю.

2. Если $t_{h_e}^{оп} > t_\alpha^{кр}$, то естественная тяга h_e значима. Это значит, что значение естественной тяги h_e будет лежать в доверительном интервале с вероятностью $p = 1 - \alpha$, границы которого определяются по формуле

$$h_e \in (h_e - m_{h_e} t_\alpha^{кр}(\alpha; n - 2); h_e + m_{h_e} t_\alpha^{кр}(\alpha; n - 2)).$$

Производительность $Q_{в}$ ГВУ можно регулировать путем изменения угла установки лопаток осевого направляющего аппарата. Опытные значения определяются при помощи расходомера, расположенного в нагнетательном (диффузорном) канале. Изменение статического давления $h_{в}$, развиваемого ГВУ, определяется при помощи приборов (например, микробарометров), расположенных в нагнетательном и всасывающем канале ГВУ. Приведем результаты расчетов h_e и $R_{руд}$ по опытным данным.

Ниже представлены результаты обработки опытных данных для трех опытных серий.

В табл. 1 приведены опытные данные, полученные в первой серии измерений.

Таблица 1

Значения статического давления h_b , развиваемого ГВУ в зависимости от ее производительности Q_b

$Q_b, \text{ м}^3/\text{с}$	219,9	230,1	264,3	282,1	299,5	312,6	330,5	367,1
$h_b, \text{ Па}$	1992,11	2241,62	2770,53	3340,14	3751,55	4126,36	4296,87	5449,18

Расчеты дают следующие оценки естественной тяги и аэродинамического сопротивления рудника: $h_e = 115,22 \text{ Па}$, $R_{\text{руд}} = 0,0396 \text{ (Н}\cdot\text{с}^2)/\text{м}^8$. Однако полученные расчетные данные являются нечеткими, так как подвержены влиянию случайных обстоятельств и неточностей результатов измерений.

С целью статистической оценки и поиска доверительного интервала для величины естественной тяги h_e зададим уровень значимости $\alpha = 0,05$. Тогда соответствующий доверительный интервал для значения естественной тяги h_e вычисляется по известным формулам математической статистики [3–5]. В рассматриваемом случае доверительный интервал для значения естественной тяги оказывается равным

$$h_e \in (-188,53; 418,98), \text{ Па.}$$

В данном случае границы доверительного интервала имеют разные знаки, что указывает на возможную близость значения естественной тяги к нулю. При этом расчетное значение критерия Стьюдента для величины естественной тяги много меньше его критического значения: $t_{h_e}^{\text{оп}} = 0,93 \ll 2,45 = t_{\alpha}^{\text{кр}} = t(0,05; 6)$. Это подтверждает незначимость величины естественной тяги h_e : следовательно, с вероятностью 0,95 ($p = 1 - \alpha$) ее величиной можно пренебречь ($h_e = 0 \text{ Па}$).

В табл. 2 представлены результаты измерений статического давления h_b , развиваемого ГВУ в зависимости от ее производительности q_b , полученные во второй серии измерений.

Таблица 2

Значения статического давления h_b , развиваемого ГВУ в зависимости от ее производительности Q_b

$Q_b, \text{ м}^3/\text{с}$	219,9	230,1	264,3	282,1	299,5	312,6	330,5	367,1
$h_b, \text{ Па}$	2994,25	3151,88	4121,52	4511,23	4942,14	5128,58	5791,27	6611,91

Аналогичные оценки величины общерудничной естественной тяги и аэродинамического сопротивления рудника следующие: $h_e = 1026,2 \text{ Па}$,

$R_{руд} = 0,0426 \text{ (Н}\cdot\text{с}^2)/\text{м}^8$. Доверительный интервал при том же уровне значимости равен

$$h_e \in (660,86; 1391,55), \text{ Па.}$$

Обе границы доверительного интервала положительны, что указывает на то, что в момент измерений естественная тяга h_e препятствовала поступлению воздуха в рудник [6, 7]. Тогда производительность ГВУ можно повысить на величину $h_e = 1391,55 \text{ Па}$ для полной компенсации влияния противодействующей проветриванию естественной тяги.

В табл. 3 представлены опытные данные, полученные в третьей серии измерений.

Таблица 3

Значения статического давления h_b , развиваемого ГВУ в зависимости от ее производительности Q_b

$Q_b, \text{ м}^3/\text{с}$	219,9	230,1	264,3	282,1	299,5	312,6	330,5	367,1
$h_b, \text{ Па}$	1193,52	1454,73	2121,54	2381,15	2792,56	3191,47	3771,87	4822,48

Аналогично вышеприведенным расчетам получаем следующие оценки значений естественной тяги и аэродинамического сопротивления рудника: $h_e = -822,55 \text{ Па}$, $R_{руд} = 0,0415 \text{ (Н}\cdot\text{с}^2)/\text{м}^8$. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ найдем соответствующий доверительный интервал:

$$h_e \in (-1050,24; -594,87), \text{ Па.}$$

Обе границы доверительного интервала отрицательны, т.е. с вероятностью 95 % в момент измерений естественная тяга h_e способствовала поступлению воздуха в рудник [6, 7]. В целях экономии энергии в рассматриваемом случае рекомендуется снизить производительность ГВУ на величину $\Delta h_e = 594,87 \text{ Па}$ (т.е. до верхней границы доверительного интервала).

Описанная выше методика расчета величины и направления общерудничной естественной тяги показывает, что для управления режимом работы ГВУ необходимо произвести оценку указанного значения h_e с заданной доверительной вероятностью. Ввиду того что в расчетах для этой цели использовался уровень значимости $\alpha = 0,05$, представляют интерес случаи оценки величины и направления общерудничной естественной тяги h_e при других значениях α .

В табл. 4 приведены результаты расчетов границ доверительных интервалов для величины естественной тяги h_e при различных значениях уровня значимости (для второй серии измерений).

Таблица 4

Результаты расчетов границ доверительных интервалов для величины естественной тяги h_e при различных значениях уровня значимости

Серия А2	Нижняя граница	Верхняя граница	Приращение
$\alpha = 0,01$	472,96	1579,44	553,24
$\alpha = 0,05$	660,86	1391,55	365,35
$\alpha = 0,1$	736,91	1315,50	289,30

При оценке полученных данных видно, что при увеличении уровня значимости α приращение по интервалу уменьшается. Однако вероятность, с которой эти границы принимаются, уменьшается ($p = 1 - \alpha$), следовательно, шанс совершения ошибки первого рода увеличивается.

Для обеспечения энергосберегающего режима при поддержании требуемых условий безопасности одним из способов является вариант управления работой ГВУ с учетом действия общерудничной естественной тяги h_e [7–10]. Тогда основным показателем в данном процессе является выбор уровня значимости α для оценки величины и направления общерудничной естественной тяги h_e с целью определения доверительного интервала, в котором необходимо производить регулировку ГВУ.

Таким образом, использование методов математической статистики позволяет оценивать не только средние значения естественной тяги, но и рассчитать соответствующие доверительные интервалы с заранее заданной вероятностью. Это позволяет осуществлять управление процессом вентиляции рудника в процессе его эксплуатации, т.е. на основе постоянно изменяющихся нечетких данных и тем самым обеспечивать безопасность горнорабочих и повысить эффективность работы ГВУ.

Список литературы

1. Мохирев Н.Н., Радько В.В. Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. – 324 с.
2. Николаев А.В. Анализ теоретической формулы, определяющей величину естественной тяги между воздухоподающим и вентиляционным стволами // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2009. – № 10. – С. 72–75.
3. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика в задачах и упражнениях. – М.: ЮНИТИ, 2001. – 270 с.
4. Лялькина Г.Б., Бердышев О.В. Математическая обработка результатов эксперимента: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 78 с.

5. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. – М.: Иностранная литература, 1956. – 664 с.

6. Lyalkina G.B., Nikolaev A.V. Natural draught and its direction in a mine at the preset confidence coefficient // Journal of Mining Science. – 2015. – Vol. 51, № 2. – P. 342–346.

7. Николаев А.В. Управление тепловыми депрессиями в системах вентиляции калийных рудников: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 20 с.

8. 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, № 5. – P. 636–642.

9. 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

10. Николаев А.В., Алыменко Н.И. Применение системы кондиционирования воздуха с учетом тепловых депрессий, действующих между стволами // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 12. – С. 12–15.

Получено 08.10.2017

Макарычев Никита Сергеевич – студент, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nmakarychev@mail.ru.

Лялькина Галина Борисовна – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: bg@pstu.ru.

Николаев Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Горная электромеханика», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nikolaev0811@mail.ru.