

*В.М. Стрелец, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
П.Ю. Бородич, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
П.А. Ковалев, к.т.н., доцент, нач. каф., НУГЗУ,*

РАСКРЫТИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСХОДА ЗАПАСА ВОЗДУХА ПРИ РАБОТЕ СПАСАТЕЛЕЙ В АППАРАТАХ НА СЖАТОМ ВОЗДУХЕ

(представлено д-ром техн. наук Росохой С.В.)

Закономерностью расхода при работе в АСВ является нормальная функция распределение рассматриваемого показателя внутри рассматриваемого режима работы. Отмечено, что при всех режимах работы в аппарате расход воздуха выше нормативных показателей легочной вентиляции.

Ключевые слова: АСВ, легочная вентиляция, расход воздуха, режимы работы.

Постановка проблемы. Наиболее распространенной и важной характеристикой процесса дыхания человека, которую используют в большинстве ситуаций, связанных с расчетом времени работы в изолирующих аппаратах, а также обоснованием требований по созданию и эксплуатации средств индивидуальной защиты органов дыхания, является [1] легочная вентиляция $\omega_{л}$. В научно-технической [2] и нормативной литературе [3, 4] приведены значения легочной вентиляции, соответствующие выполнению работ различной степени тяжести. Исходя из этих данных, рассчитывается время защитного действия изолирующих аппаратов. Однако в реальных условиях время работы в аппаратах на сжатом воздухе (АСВ), которые наиболее распространены в пожарно-спасательных подразделениях, значительно ниже.

Анализ последних достижений и публикаций показал, что легочная вентиляция определяется [2] количеством воздуха, который циркулирует в легких в единицу времени, т.е. зависит от частоты дыхания и дыхательного объема. Рассматриваемая характеристика зависит от физического состояния человека. Так в состоянии покоя человек делает 15-18 дыхательных циклов в минуту, дыхательный объем в этом случае равняется около $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, а легочная вентиляция, соответственно, $0,12-0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ [5]. В [5] отмечено, что при нагрузках, которые сопровождаются ускорением окислительных процессов в тканях и увеличением их потребности в кислороде, показатели всех трех параметров увеличивается. Там же приведены и конкретные значения для легочной вентиляции. При этом, учитывая удобство пользования (поскольку на практике [3, 6] запас Q воздуха в АСВ, как правило, рассчитывают в литрах, а время t защитного действия в минутах), в качестве

легочной вентиляции используется показатель

$$\omega_l = \frac{Q}{t} \quad (1)$$

с размерностью [л/мин].

Так, при работе в АСВ в руководящих документах [3] рекомендуется использовать при проведении расчетов $\omega_l = 30$ л/мин, когда используются отечественные аппараты (АСВ-2, АИР-317, АВИМ и др.) или $\omega_l = 40$ л/мин, когда используются зарубежные (Дрегер, Ауэр и др.), независимо от характера выполняемых работ.

В научно-технической [1, 7] и справочной литературе [8] приведены значения легочной вентиляции, соответствующие выполнению работ различной степени тяжести. Однако особенности расхода запаса газозвоздушной смеси, связанные со спецификой работы в АСВ не рассматривались. В [9] отмечена тенденция увеличения разницы между реальными значениями легочной вентиляции и соответствующими нормативными [3, 4] значениями при увеличении тяжести выполняемой работы. При этом статистическая проверка данного вывода не проводилась.

Постановка задачи и ее решение. Исходя из этого, поставлена задача раскрытия закономерностей расхода запаса воздуха при работе пожарных в аппаратах на сжатом воздухе.

Для этого были рассмотрены особенности, связанные с работой в АСВ (во время экспериментальных исследований использовались аппараты Дрегер Р-78) при выполнении испытуемыми работ разной степени тяжести:

- в покое они в течение 10 минут сидели, будучи включенными в изолирующий аппарат;
- при выполнении легкой работы они с закрытыми глазами передвигались вдоль стены помещения в течение 10 минут;
- в качестве работы средней тяжести выполнялся подъем на ступеньку высотой 20 см в течение 4 минут со скоростью 20 подъемов в минуту;
- при тяжелой работе испытуемые выполняли подъем на ступеньку высотой 40 см в течение 4 минут со скоростью 20 подъемов в минуту;
- в качестве очень тяжелой работы выполнялся подъем на ступеньку высотой 40 см в течение 4 минут со скоростью 30 подъемов в минуту.

В каждом случае измерялось начальное давление ($P_{нач}$, МПа) и давление по окончании выполнению работы ($P_{кон}$, МПа). Это позволило, используя закон Бойля-Мариотта, перейти к

$$\omega_l = \frac{(P_{нач} - P_{кон}) \cdot V_б}{P_{атм} \cdot t} \quad (2)$$

где $P_{\text{атм}} \approx 0,1$ МПа – атмосферное давление; $V_6 = 8$ л – объем баллонов АСВ.

Полученные результаты по каждому виду работ, поскольку в соответствующем случае использовалась выборка с объемом $n=24$, были проверены на нормальность распределения по критерию Шапиро-Уилка [10].

Табл. 1. Результаты оценки легочной вентиляции при нахождении испытуемых в покое

Испытуемый	$P_{\text{нач}}$	$P_{\text{кон}}$	V_6	t	$\omega_{\text{л}}$	$(\omega_{\text{л}_i} - \bar{\omega}_{\text{л}})^2$
1	2	3	4	5	6	7
1	18,25	16,50	8	10	14,00	14,694
2	18,75	17,00	8	10	14,00	3,361
3	19,50	17,75	8	10	14,00	3,361
4	18,00	16,00	8	10	16,00	3,361
5	18,75	16,50	8	10	18,00	3,361
6	19,75	17,75	8	10	16,00	3,361
7	18,25	16,50	8	10	14,00	0,028
8	19,00	17,25	8	10	14,00	0,028
9	20,00	18,50	8	10	12,00	0,028
10	19,75	18,25	8	10	12,00	0,028
11	18,50	16,50	8	10	16,00	0,028
12	19,50	17,75	8	10	14,00	0,028
13	18,25	16,50	8	10	14,00	0,028
14	18,75	17,00	8	10	14,00	0,028
15	19,75	18,50	8	10	10,00	0,028
16	19,50	17,75	8	10	14,00	0,028
17	19,25	17,75	8	10	12,00	0,028
18	18,50	16,75	8	10	14,00	0,028
19	18,75	17,00	8	10	14,00	0,028
20	19,25	17,75	8	10	12,00	0,028
21	20,00	18,25	8	10	14,00	4,694
22	19,00	17,50	8	10	12,00	4,694
23	18,25	16,50	8	10	14,00	4,694
24	18,75	17,00	8	10	14,00	17,361
$\bar{\omega}_{\text{л}}$					13,83	
$G_{\omega_{\text{л}}}$					1,659	
$n \cdot m_2$						63,33

Для этого, например, применительно к нахождению испытуемых в покое (см. табл. 1) вначале были рассчитаны среднее значение показателя легочной вентиляции

$$\bar{\omega}_л = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_{л_i}}{n}, \quad (3)$$

где $\omega_{л_i}$ – значение показателя легочной вентиляции у i -го испытуемого, л/мин.; среднеквадратическое отклонение

$$G_{\omega_л} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\omega_{л_i} - \bar{\omega}_л)^2}, \quad (4)$$

и

$$n \cdot m_2 = \sum_{i=1}^n (\omega_{л_i} - \bar{\omega}_л)^2 = 63,33, \quad (5)$$

где m_2 – выборочный центральный момент второго порядка.

Поскольку оценки $\omega_{л_i}$ являются результатом обработки независимых наблюдений, они были расположены в порядке неубывания и обозначены символами $\omega_{л_1}, \omega_{л_2}, \dots, \omega_{л_{n=24}}$.

В табл. 2 приведена упорядоченная серия полученных значений легочной вентиляции. Это позволило вычислить промежуточную сумму S по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} \cdot (\omega_{л_{(n-i+1)}} - \omega_{л_i}) = 7,74, \quad (6)$$

где k – индекс, имеющий значения от 1 до $n/2 = 12$; a_{n-i+1} – коэффициент, имеющий специальные значения для объема выборки n (его значения, приведенные в табл. 2, взяты из табл.10 [10]).

Таблица 11 [10] для уровня значимости $\alpha=0,05$ и $n=24$ дает значение $W_{\text{табл}} = 0,916$, равное 0,916. Поскольку

$$W = 0,946 \geq W_{\text{табл}} = 0,916, \quad (7)$$

распределение в соответствии с [10] считается нормальным.

Расчеты, аналогичные (3)-(7), были выполнены и для анализа расхода воздуха в АСВ при выполнении работ с другой степенью тяжести. Обобщенные результаты приведены в табл. 3 и на рис. 1.

Табл. 2. Упорядоченная серия полученных значений легочной вентиляции при нахождении испытуемых в покое

k	$\omega_{л(24-k+1)}$	$\omega_{лк}$	$\omega_{л(24-k+1)} - \omega_{лк}$	a_{n-k+1}	$a_{n-k+1} \cdot (\omega_{л(n-k+1)} - \omega_{лк})$
1	2	3	4	5	6
1	18	10,00	8,00	0,4493	3,5944
2	16	12,00	4,00	0,3098	1,2392
3	16	12,00	4,00	0,2554	1,0216
4	16	12,00	4,00	0,2145	0,858
5	16	12,00	4,00	0,1807	0,7228
6	14	12,00	2,00	0,1512	0,3024
7	14	14,00	0,00	0,1245	0
8	14	14,00	0,00	0,0997	0
9	14	14,00	0,00	0,0764	0
10	14	14,00	0,00	0,539	0
11	14	14,00	0,00	0,0321	0
12	14	14,00	0,00	0,0107	0
S					7,738
S^2					59,88

Анализ полученных результатов (см. табл. 3 и рис.1) показывает, что закономерностью расхода воздуха при работе в АСВ является нормальная функция распределения рассматриваемого показателя (1) независимо от тяжести выполняемой работы. При этом средние значения расхода воздуха хуже нормируемых показателей легочной вентиляции, предлагаемых для использования в Системе стандартов по безопасности труда [4] и рекомендуемых для расчета времени работы в АСВ. Исключение составляют рекомендации по расчету времени работы в Ауэр и Дрегер [11], но и там они совпадают только для работы средней степени тяжести.

Табл. 3. Обобщенные результаты экспериментальных исследований

Степень тяжести выполняемой работы	Нормативное значение показателя легочной вентиляции	$\bar{\omega}_л$	$G_{\omega_л}$	$n \cdot m_2$	S^2	W
Покой	12	13,83	1,659	63,33	59,88	0,946
Легкая	20	24,25	2,658	162,50	176,02	1,083
Средней степени тяжести	30	39,58	5,500	695,83	641,38	0,9217
Тяжелая	60	70,00	6,916	1100,00	1055,54	0,960
Очень тяжелая	84	95,63	6,135	1273,96	1206,56	0,947

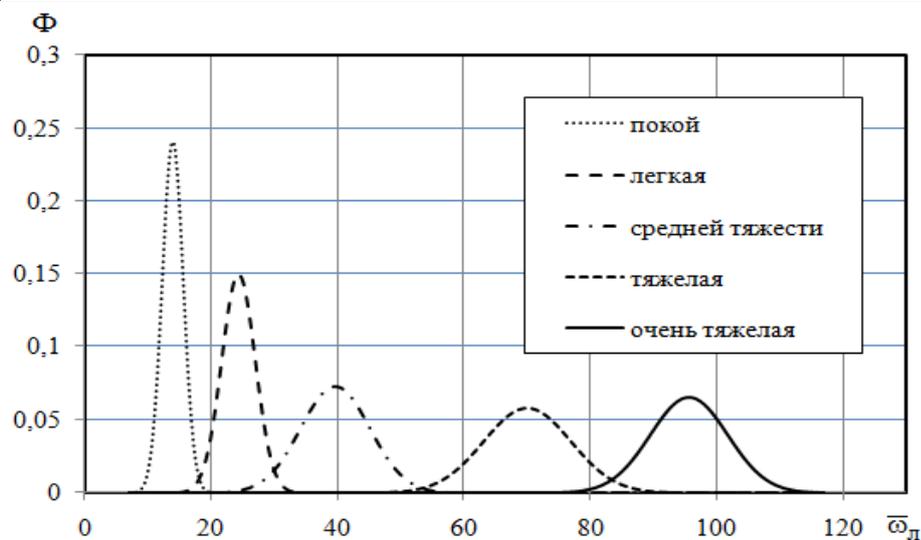


Рис. 1. Функции распределения расхода воздуха в АСВ от тяжести выполняемой работы

Разница между экспериментальными значениями расхода воздуха (см. табл.3) и нормативными значениями легочной вентиляции [3,4], начиная с работы средней тяжести, становится практически одинаковой (приблизительно 10 л/мин). Это может быть объяснено конструктивными особенностями легочного автомата АСВ, который рассчитывается исходя из стабильной работы в диапазоне 30÷84 л/мин.

Выводы:

- при рассмотрении работы пожарных в АСП необходимо пользоваться понятием «расход воздуха», а не «легочная вентиляция», поскольку при всех режимах работы в аппарате расход воздуха выше нормативных показателей легочной вентиляции;
- закономерностью расхода при работе в АСВ является нормальная функция распределение рассматриваемого показателя внутри рассматриваемого режима работы;
- постовой на посту безопасности должен оценивать расчетные временные характеристики с учетом реальных значений показателя расхода воздуха;
- *перспективным направлением дальнейших исследований* является раскрытие закономерностей расхода воздуха от условий, в которых работают газодымозащитники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основи створення та експлуатації апаратів на стисненому повітрі / [Ковальов П.А., Стрілець В.М., Єлізаров О.В., Безуглов О.Є.] – Х. : АЦЗУ, 2005. – 359 с.
2. Стрілець В.М. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Основи створення та експлуатації : Навчальний посібник / Стрілець Віктор Маркович. – Х.: АПБУ, 2001. – 118 с.

3. Настанова з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби МНС України: Наказ МНС України № 1342 від 16 грудня 2011р. : М-во надзв. сит. України, 2011. – 56 с. – (Нормативний документ МНС України. Настанова).

4. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Методи випробування. Частина 3. Визначення опору дихання : ДСТУ EN 13274-3: 2005 – [Чинний від 2005-12-26]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 14 с.

5. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования. Учебное пособие. / [Гудков С.В., Дворецкий С.И., Путин С.Б., Таров В.П.] – М. : «Машиностроение», 2008. – 190 с.

6. Основи створення та експлуатації засобів індивідуального захисту / [Стрілець В.М., Ковальов П.А., Бородич П.Ю., Росоха С.В.] – Харків: НУЦЗУ, 2014. – 360 с.

7. Грачев В.А. Газодимозащитная служба: Учебник / Грачев В.А., Поповский Д.В. Под общ. ред. д.т.н., профессора Мелашчина Е.А. – М.: Пожкнига, 2004. – 384 с.

8. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Справочное руководство / [Басманов П.И., Каминский С.Л., Коробейникова А.В., Трубицина М.Е.] – СПб. : ГИПП "Искусство России", 2002. – 400 с.

9. Бородич П.Ю. Оценка показателя легочной вентиляции для работ разной степени тяжести / П.Ю. Бородич, О.Е. Безуглов // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – Вып. 30. – С.64-67.

10. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения: ГОСТ Р ИСО 5479-2002. – [Действующий от 2002-07-01]. Москва: Госстандарт России, 2002. – 31 с. – (Государственные стандарты России).

11. Рекомендації для вивчення повітряних протигазів “Drager” PA 90 SERIES {PA 92} у підрозділах гарнізонів пожежної охорони – К. : УДПО МВС України, 1995. – 19 с.

В.М. Стрілець, П.Ю. Бородич, П.А. Ковальов

Розкриття закономірностей витрати запасу повітря при роботі рятувальників в апаратах на стисненому повітрі

Закономірністю витрати при роботі в АСП є нормальна функція розподілу розглянутого показника всередині розглянутого режиму роботи. Відзначено, що при всіх режимах роботи в апараті витрата повітря вище нормативних показників легеневої вентиляції.

Ключові слова: АСП, легенева вентиляція, витрата повітря, режими роботи.

V.M. Strelets, P.Yu. Borodich, P.A. Kovalov

Regularity clarification of air expenses when working in SCBA

Regularity of flow when working in the SCBA is a normal function of the distribution of the indicator within the considered mode. It is noted that in all operating modes of the device air expense is higher than the normative parameters of pulmonary ventilation.

Keywords: SCBA, thermal conductivity, air expense, modes.