

11. Bowen T. P., Hoehn M. M., Jahr M. D. Cerebral dominance in relation to tracking and tapping performance in patients with parkinsonism // *Neurology* (Minneapolis).—1972.—22, N 1.—P. 32—39.
12. Buckholz E., Rugins V. The relationship between estimates of toleperidol duration and simple reaction time // *Mot. Behav.*—1978.—10, N 3.—P. 211—221.
13. Clark J. E. Developmental differences in response processing // *Ibid.*—1982.—14, N 3.—P. 247—254.
14. Control of reaction time performance involves the striatum / M. Conde, M. Benita, J. F. Dormont // *Physiol.* (France).—1981.—77, N 1.—P. 97—105.
15. Corpolongo M., Salmon P. Comparison of information-processing capacities in young and aged subjects using reaction times // *Percept. and Mot. Skills.*—1981.—52, N 3.—P. 987—994.
16. Effects of perceptual and cognitive difficulty on P3 and hT in young and adult / J. M. Ford, A. Pfefferbaum, J. R. Finklenberg, B. S. Kopell // *Electroencephalogr. and Clin. Neurophysiol.*—1982.—54, N 3.—P. 311—321.
17. Gottsdanker R. Age and simple reaction time // *Gerontologia.*—1982.—37, N 3.—P. 341—348.
18. Gupta S., Nicholson J. Simple visual reaction time, personality and strength of the nervous system: a signal detection theory approach // *Person. and Individ. Differ.*—1985.—6, N 4.—P. 461—469.
19. Intrahemispheric transfer of voluntary motor commands in man / M. Schieppatti, M. Musazzi, A. Nardone et al. // *Electroencephalogr. and Clin. Neurophysiol.*—1984.—57, N 5.—P. 441—447.
20. Jordan T. C., Rabbitt P. M. Response time to stimuli of increasing complexity as a function of ageing // *Brit. J. Psychol.*—1977.—68, N 2.—P. 168—201.
21. Kolozsi B., Molnar K., Bartok J. Gestaltung der Reaktionszeit während des Alterns und bei Zerebralsklerose // *Aktuel. Gerontol.*—1981.—11, N 1.—S. 19—22.
22. Mills L., Rollman G. B. Left hemisphere selectivity for processing duration in normal subjects // *Brain and Lung.*—1979.—7, N 3.—P. 320—355.
23. Nagasaki H., Aoki F., Nakamura R. Premotor and motor reaction time as a function of force output // *Percept. and Mot. Skills.*—1983.—57, N 3.—P. 859—867.
24. Rabbitt P. How old and young subjects monitor and control responses for accuracy and speed // *Brit. J. Psychiat.*—1979.—70, N 2.—P. 305—311.
25. Siegler J. Intelligence reaction time and memory in young old vs. old participants in the First Longitudinal Study // 12th Int. Congr. Geront (Hamburg, July 12—17, 1981).—1981.—Vol. 1.—P. 140.
26. Strauss M. E., Wagman A. M. J., Quaid K. H. Preparatory interval influences on reaction—time of elderly adults // *Gerontologia.*—1983.—38, N 1.—P. 55—57.
27. Taniguchi R., Nakamura R., Oshima V. Reaction time in simultaneous motions // *Percept. and Mot. Skills.*—1977.—44, N 3.—P. 709—710.
28. Wynn V. T. Reaction time as a function of the cardiac cycle // *Brit. J. Physiol.*—1980.—71, N 1.—P. 155—162.

Ин-т геронтологии АМН СССР, Киев

Поступила 10.05.87

УДК 612.644

## **Биологические эквиваленты шума, локальной вибрации, температуры и подвижности воздуха при их комбинированном воздействии на организм человека**

**В. С. Горбань**

Горнорабочие глубоких шахт, использующие в своей деятельности ручные машины, подвергаются воздействию различных сочетаний вибрации, шума и микроклимата.

Настоящая работа посвящена определению биологических эквивалентов эффектов влияния шума, локальной вибрации, температуры и подвижности воздуха на специфические и интегральные показатели функционального состояния организма.

### **Методика**

В соответствии с положениями математической теории эксперимента [1] были запланированы и проведены в лабораторных условиях 17 серий (106 опытов) исследований на добровольцах-мужчинах в возрасте 18—20 лет, не подвергавшихся ранее действию

повышенных уровней шума, локальной вибрации и нагревающего микроклимата. Исследовали временные смещения порогов слышимости (ВСПС) и вибрационной чувствительности (ВСПВЧ), сдвиги средневзвешенной температуры кожи (СВТК), влагопотери испарением, латентного периода простой зрительно-моторной реакции и максимальной мышечной работоспособности, а также показателей сердечно-сосудистой системы, таких как частота сердечных сокращений, диастолическое, среднее динамическое и систолическое давление. Критерии оценки физиологических функций соответствовали приведенным в Методических рекомендациях №1957-78, № 1958-78 и № 2661-83, утвержденных Министерством здравоохранения СССР [2—4].

Диапазон варьирования изучавшихся факторов включал в себя предельно допустимые значения для изолированного воздействия и был представлен в эксперименте тремя уровнями: минимальным, средним и максимальным. Уровни температуры воздуха ( $T$ ) составляли 22 °С (условия комфорта), 28 °С (близкая к предельно допустимой для угольных шахт условиям) и 34 °С (дисконфорт). Скорость движения или подвижность ( $\Pi$ ) воздуха составила соответственно 0,5; 1,75 и 3 м/с (предельно допустимая по пылевому фактору). Эквивалентные уровни шума ( $\text{Ш}$ ): 82,5; 87,5 и 92,5 дБ А. Уровни локальной вибрации ( $B$ ) на частоте 32 Гц, характерной для горных ручных машин, составляли 105, 111 и 117 дБ. Температура стен микроклиматической камеры не превышала температуру воздуха по сухому термометру.

Каждый исследуемый в течение 60 мин в условиях стесненного по высоте пространства нажимал на рукоятки вибростенда с усилием 200 Н. Продолжительность однократного нажатия и продолжительность последующего отдыха составляли соответственно 6 и 3 мин.

Матрица планирования полного четырехфакторного эксперимента строилась в соответствии с Методическими рекомендациями № 4223-86 [5].

## Результаты и их обсуждение

Полученные в результате 106 опытов уравнения множественной регрессии позволили рассчитать физиологическую «стоимость» изменения каждого из исследовавшихся факторов при комбинированном воздействии, а также определить ведущие по влиянию факторы.

Временное смещение порогов вибрационной чувствительности ( $U_1$ ) на частоте 125 Гц на 2-й минуте восстановительного периода описывается следующим уравнением множественной регрессии:

$$U_1 = 5,9 - 0,6 \cdot T + 1,1 \cdot \Pi + 0,5 \cdot B + 0,3 \cdot \text{Ш} - 0,26 \cdot T \cdot \Pi - 0,03 \cdot T \cdot B. \quad (1)$$

Измеряемая коэффициентом множественной детерминации доля влияния регулируемых в эксперименте факторов составила 57,4 % общего варьирования временного смещения порогов вибрационной чувствительности.

Анализ частных коэффициентов множественной детерминации для уравнения (1) позволил определить ведущие (по доле эффекта) факторы и проранжировать их: температура воздуха (24,3 %), локальная вибрация (15,3 %), взаимодействие температуры и подвижности воздуха (7,5 %), шум (4 %), подвижность воздуха (3,4 %), а также взаимодействие температуры воздуха и локальной вибрации (2,7 %).

Положительные частные коэффициенты множественной регрессии, полученные для вибрации, шума и подвижности воздуха, свидетельствуют об однонаправленном действии этих факторов на состояние вибрационной чувствительности. Влияние температуры воздуха, взаимодействия температуры и подвижности воздуха, а также взаимодействия температуры и вибрации было отрицательным и приводило к уменьшению сдвигов вибрационной чувствительности.

Установлены физиологические эквиваленты изменения параметров шума, локальной вибрации, температуры и подвижности воздуха по показателю вибрационной чувствительности. Возрастание порогов вибрационной чувствительности на 1 дБ может быть вызвано увеличением уровня локальной вибрации на 2,1 дБ или уровня шума на 3,4 дБ А.

Этот же эффект может быть достигнут увеличением подвижности воздуха на 1 м/с или снижением температуры воздуха на 1,7 °С.

Биологические эквиваленты эффектов шума и локальной вибрации на временное смещение порогов вибрационной чувствительности относятся как 1 : 1,6, температуры и подвижности воздуха — как 1 : 1,7.

Сдвиг средневзвешенной температуры кожи ( $Y_2$ ) под влиянием исследованных факторов описывается следующим уравнением множественной регрессии:

$$Y_2 = -0,04 + 0,24 \cdot T - 0,4 \cdot П - 0,04 \cdot Ш + 0,08 \cdot T \cdot П - 0,008 \cdot T \cdot Ш. \quad (2)$$

Доля эффекта, вызванная действием изучавшихся факторов на сдвиг средневзвешенной температуры кожи, составила 80,6 % вариации этого показателя. Ведущим фактором в этом комплексе явилась температура воздуха, на долю вариации которой приходится 60,4 % вариации сдвигов. На долю эффекта взаимодействия температуры и подвижности приходится 9,6 %, а на долю эффекта подвижности воздуха — 7,4 % вариации сдвигов средневзвешенной температуры кожи. Отрицательные эффекты влияния шума, а также взаимодействия температуры и шума в сумме составляют только 3 % вариации сдвигов показателя.

Анализ частных коэффициентов множественной регрессии в уравнении [2] показал, что увеличение температуры воздуха на 4,16 °С приводит к возрастанию средневзвешенной температуры кожи на 1 °С и может быть компенсировано увеличением подвижности воздуха на 2,5 м/с. Таким образом, биологические эквиваленты эффектов температуры и подвижности воздуха по показателю прироста средневзвешенной температуры кожи относятся как 1 : 1,7.

Уравнение множественной регрессии, описывающее прирост средней частоты сердечных сокращений ( $Y_3$ ) в процессе работы на вибростенде имеет следующий вид:

$$Y_3 = 28,1 + 0,72 \cdot T - 1,85 \cdot П + 0,06 \cdot T \cdot Ш. \quad (3)$$

Исходя из уравнения (3), прирост частоты сердечных сокращений на 1 уд/мин, вызванный увеличением температуры воздуха на 1,38 °С, может быть компенсирован увеличением подвижности воздуха на 0,54 м/с. Биологические эквиваленты влияния температуры и подвижности воздуха на показатели прироста частоты сердечных сокращений относятся как 1 : 2,5. Солдак и соавт. [6] установили биологические эквиваленты изменения температуры и подвижности воздуха по интегральному показателю — теплоградиенту. Они показали, что увеличение подвижности воздуха на 1 м/с равноценно снижению его температуры на 2 °С. Таким образом, биологические эквиваленты изменения температуры и подвижности воздуха для прироста средневзвешенной температуры кожи и временного смещения порогов вибрационной чувствительности примерно совпадают с биологическими эквивалентами для теплоградиента и относятся как 1 : 2.

Отрицательные эффекты влияния взаимодействия температуры и подвижности воздуха для уравнений (1) и (2) свидетельствуют о различном (в зависимости от уровня температуры воздуха) влиянии подвижности на временное смещение порогов вибрационной чувствительности и прирост средневзвешенной температуры кожи. Расчет по уравнениям (1) и (2) показал, что в диапазоне температур от 22 до 32 °С увеличение подвижности воздуха сопровождается увеличением значений порога вибрационной чувствительности и снижением средневзвешенной температуры кожи. При температуре воздуха 33 °С происходит смена направленности влияния подвижности воздуха. Охлаждающее действие подвижности воздуха сменяется нагревающим. Этот факт согласуется с данными, полученными Шлейфман и соавт. [7], а также Солдак и соавт. [6], которые предлагают использовать установки для воздушного душирования в диапазоне температур от 20 до 32 °С. Следует отметить, что нормализация функции сердечно-сосуди-

стой системы и системы терморегуляции за счет увеличения подвижности воздуха у горнорабочих, работающих на виброопасных ручных машинах, может привести к более выраженному воздействию вибрации на состояние анализатора вибрационной чувствительности. Поэтому, при разработке физиолого-гигиенических мероприятий, направленных на нормализацию воздействия комплекса факторов, следует учитывать направленность и эквивалентные значения сдвигов уровней факторов, приводящих к одинаковому сдвигу той или иной физиологической функции, представленные в таблице.

Для показателей, приведенных в таблице, знаки «+» и «-» соответствуют положительным и отрицательным эффектам, проявившимся

**Направленность и эквивалентные значения сдвигов уровней факторов, приводящих к одинаковому сдвигу физиологических показателей**

| Величина сдвига, физиологический показатель | Эквивалентные значения сдвига факторов и их комплексов |                          |                        |          |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|----------|
|                                             | Температура воздуха, °С                                | Подвижность воздуха, м/с | Локальная вибрация, дБ | Шум, дБА |

**Временное смещение порогов: вибрационной чувствительности**

|                   |       |      |       |       |
|-------------------|-------|------|-------|-------|
| на 125 Гц, 1 дБ   | -1,7* | +0,9 | +2,1* | +3,5  |
| на 32 Гц, 1 дБ    |       |      |       |       |
| слышимости        | -3,7* | —    | +2,4* | —     |
| на 4 000 Гц, 1 дБ | —     | —    | —     | +0,5* |
| на 250 Гц, 1 дБ   | +4,0* | —    | —     | +2,8* |

**Сдвиг физиологических показателей:**

|                                                   |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| средневзвешенной температуры кожи на 1 °С         | +4,2* | -2,5* | —     | -24,6 |
| среднего артериального давления на 1 мм рт. ст.   | -3,3  | —     | +5,8  | —     |
| зрительно-моторной реакции на 1 мс                | -1,9  | +0,4  | —     | +1,4  |
| максимальной мышечной работоспособности на 1 кг·с | -1,4* | —     | —     | -2,0  |
| частоты сердечных сокращений на 1 уд/мин          | +1,4  | -0,5  | —     | —     |
| влагопотери на (1 г·кг)/ч                         | +3,7* | —     | +15,4 | —     |

| Величина сдвига, физиологический показатель | Эквивалентные значения сдвига факторов и их комплексов  |                            |                               |                                                       |                        |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------|
|                                             | Температура и подвижность воздуха, °С·м·с <sup>-1</sup> | Температура и шум, °С·дБ А | Температура и вибрация, °С·дБ | Подвижность воздуха и вибрация, м·с <sup>-1</sup> ·дБ | Вибрация и шум, дБ·дБА |

**Временное смещение порогов: вибрационной чувствительности**

|                   |       |       |       |      |       |
|-------------------|-------|-------|-------|------|-------|
| на 125 Гц, 1 дБ   | -3,8* | —     | -30,3 | —    | —     |
| на 32 Гц, 1 дБ    |       |       |       |      |       |
| слышимости        | —     | —     | -31,3 | -8,3 | —     |
| на 4 000 Гц, 1 дБ | —     | -18,5 | —     | —    | -20,4 |
| на 250 Гц, 1 дБ   | —     | —     | —     | —    | —     |

**Сдвиг физиологических показателей:**

|                                                   |        |       |       |       |   |
|---------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|---|
| средневзвешенной температуры кожи на 1 °С         | +13,0* | —     | —     | —     | — |
| среднего артериального давления на 1 мм рт. ст.   | -5,2   | —     | —     | —     | — |
| зрительно-моторной реакции на 1 мс                | —      | —     | +16,7 | -0,43 | — |
| максимальной мышечной работоспособности на 1 кг·с | -3,6   | —     | —     | —     | — |
| частоты сердечных сокращений на 1 уд/мин          | —      | +16,4 | —     | —     | — |
| влагопотери на (1 г·кг)/ч                         | —      | —     | +11,8 | —     | — |

с доверительной вероятностью более 95 %. Наиболее выраженные эффекты ( $P < 0,1\%$ ) отмечены звездочкой, не проявившиеся эффекты — прочерком. Эквивалентные значения сдвигов определены как обратные величины коэффициентов регрессии.

Биологические эквиваленты изменения физиологических функций под воздействием производственных факторов могут служить основой для установления гигиенических нормативов при комбинированном воздействии этих факторов.

# BIOLOGICAL EQUIVALENTS OF NOISE, LOCAL VIBRATION TEMPERATURE AND MOBILITY OF AIR UNDER THEIR COMBINED ACTION ON THE HUMAN ORGANISM

V. S. Gorban

Combined action of noise, local vibration and heating microclimate on the human organism has been studied in the mathematically planned experiment. Equations of multiple regression are obtained which permit determining leading factors and calculating biological equivalents of the action of the studied factors on the state of physiological functions.

Territorial Research Department of Advanced Methods of Labour Organization and Economics, Central Research Institute of Economics and Scientific Information of Coal Industry, Ministry of Coal Industry, Stakhanov

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.— М.: Наука, 1976.— 279 с.
2. Методические рекомендации по разработке дифференцированных норм локальной вибрации с учетом вибросиловых характеристик № 1957—78 от 28.12.1978.— М.: Б. и., 1979.— 34 с.
3. Методические рекомендации по разработке дифференцированных норм шума с учетом напряженности и тяжести труда № 1958—78 от 28.12.1978.— М.: Б. и., 1979.— 70 с.
4. Оценка теплового состояния организма с целью обоснования оптимальных и допустимых параметров микроклимата: Метод. рекомендации № 2661—83 от 27.06.1983.— М.: Б. и., 1983.— 11 с.
5. Математическое планирование и оценка результатов исследований комбинированного воздействия шума, вибрации и микроклимата производственной среды: Метод. рекомендации № 4223 от 10.12.1986.— М.: Б. и., 1987.— 20 с.
6. Солдак И. И., Максимович А. А. Физиологические мероприятия по нормализации труда в глубоких шахтах // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело.— М.: ЦНИИЭуголь, 1986.— Вып. 7.— 17 с.
7. Шлейфман Ф. М., Меньшов А. А., Ташкер И. Д. и др. О гигиенической оценке комбинированного воздействия теплового и шумо-вибрационного загрязнения среды на организм // Проблемы контроля и защита атмосферы от загрязнений.— К., 1982.— С. 91—94.

Террит. науч.-исслед. отд. передовых методов орг. и экономики труда ЦНИИЭуголя  
М-ва угольной пром-сти СССР, Стаханов

Поступила 30.06.87