

**BRITISH  
GAS**

**CENTRAL INDEX OF  
TRANSLATIONS**

**Translation No.** T5093/BG/WH626/79

BERAKHA, R Ya

Method for calculating air exchange in domestic rooms.  
Gig Sanit (2) 61-64 (1979)

20 DEC 1979

**LIBRARY  
59 Bryanston Street  
LONDON W1A 2AZ**

Tel: 01 723 7030/Ext. 2640

R.Ya.Berakha (Institute of Hygiene and Industrial Diseases,  
Miditsin Academy, Sofia, Bulgaria)

METHOD FOR CALCULATING AIR EXCHANGE IN DOMESTIC ROOMS.

In health studies, it has been accepted that the frequency of air exchange  $S$  in domestic rooms should be determined from the concentration of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ). For calculating  $S$ , A.A.Minkh, A.N.Marzeev, Seidel (cited by R.Mechkuev) and others have proposed different expressions, which when used without substantiation may lead to different (and sometimes to conflicting) health interpretation of the same experimental data.

The purpose of the present work is to give a general derivation of the value  $S$ , and on the basis of this to clarify the applicability of the formulae proposed by the above-mentioned authors for calculation of air exchange frequency  $S$ .

We will consider a room with volume  $V$  (in cubic metres) and a  $\text{CO}_2$  concentration at the start of the experiment  $K_1$ ,  $K_b$  being the  $\text{CO}_2$  concentration in air entering the room from outside ( $K_b$  normally in the range 0.03-0.04%), and  $C$  the quantity of  $\text{CO}_2$  produced in 1 h by people in the room. The quantity of air entering the room over 1 h will be  $SV$ . Let  $n$  be the average number of exhalations of the people in the room over 1 h. After a time  $\frac{1}{n}$  (after the first exchange) the average quantity of  $\text{CO}_2$  in the room will increase by the value  $\frac{C}{n}$ . After the same time, the air entering the room (volume  $\frac{SV}{n}$ ) will contain  $\frac{SV}{n}K_b$  carbon dioxide, and the air leaving the room  $\frac{SV}{n}K_1$ . Thus, the average  $\text{CO}_2$  concentration in the room after the first exchange (after time  $\frac{1}{n}$ ) will be:

$$K_{1.1} = \frac{(V - \frac{SV}{n})K_1 + \frac{C}{n} + \frac{SV}{n}K_b}{V} = (1 - \frac{S}{n})K_1 + \frac{1}{V} \frac{C}{n} + \frac{S}{n}K_b.$$

For an average concentration  $K_{1.2}$  of  $\text{CO}_2$  in the room after a second exchange (after time  $\frac{2}{n}$ ) we similarly have:

$$K_{1.2} = (1 - \frac{S}{n})K_{1.1} + \frac{1}{V} \frac{C}{n} + \frac{S}{n}K_b = (1 - \frac{S}{n})^2 K_1 + \frac{1}{V} \frac{C}{n} (1 + (1 - \frac{S}{n})) + \frac{S}{n}K_b (1 + (1 - \frac{S}{n}))$$

and so on. At the end of the first hour for a  $\text{CO}_2$  concentration in the room  $K_{1.n}$  we obtain

$$K_{1.n} = \left(1 - \frac{S}{n}\right) K_{1.n-1} + \frac{1}{V} \frac{C}{n} + \frac{S}{n} K_b = \left(1 - \frac{S}{n}\right)^n K_1 + \left(\frac{C}{V} + K_b\right) \left(1 - \left(1 - \frac{S}{n}\right)^n\right).$$

From physiological data,  $n$  is greater than 300. This makes it possible to simplify the upper expression and to obtain the following formula for calculating average  $\text{CO}_2$  concentration in the room  $K_2$  after  $t$  hours from the start of the experiment:

$$K_2 = K_1 e^{-St} + \left(\frac{1}{S} \frac{C}{V} + K_b\right) (1 - e^{-St}). \quad (1)$$

In expression (1),  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_b$ ,  $C$  and  $t$  are known from the experimental data, and the single unknown value is the air-exchange frequency  $S$ .

Equation (1) obtained by us agrees with the solution of the Lenz differential equation (cited by A.N.Marzeev), which was obtained on the basis of the assumption that liberation of  $\text{CO}_2$  by a source in the room was continuous. Thus, expression (1) should be utilised for calculation of air-exchange frequency  $S$  whatever the type of source.

If the experiment continues for 1 h, then

$$K_2 = K_1 e^{-S} + \left(\frac{1}{S} \frac{C}{V} + K_b\right) (1 - e^{-S}). \quad (2)$$

Figure 1 gives nomograms for graphic determination of air-exchange frequency  $S$  from equation (2) in relation to the values  $K_2$  and  $\frac{C}{V}$  for a  $\text{CO}_2$  concentration in outside air of  $K_b = 0.035\%$  and an initial concentration of  $\text{CO}_2$  in the room of  $K_1$  equal to 0.035, 0.045, 0.055 and 0.065%. For example, if  $K_1 = 0.035\%$ ,  $\frac{C}{V} = 0.10\%$  and  $K_2 = 0.078\%$ , we find from the first nomogram that  $S = 2$ . If the initial concentration in the room  $K_1$  does not coincide with the data given in Fig. 1, the air-exchange frequency  $S$  may again be found from the nomograms in Fig. 1 by linear interpolation. For example, let  $K_1 = 0.042\%$ ,  $\frac{C}{V} = 0.07\%$  and  $K_2 = 0.09\%$ . From the first nomogram ( $K_1 = 0.035\%$ ) we find that  $S_1 = 0.5$ , and from the second nomogram ( $K_1 = 0.045\%$ ) that  $S_2 = 0.7$ . Then

$$S = S_1 + (S_2 - S_1) \frac{0.042 - 0.035}{0.045 - 0.035} = 0.5 + 0.2 \times 0.7 = 0.64.$$

From formulae (1) and (2) it is possible to obtain expressions for calculation of  $S$  which can be used in health practice and to indicate their applicability. If  $St \gg 1$ , from equation (1) we obtain the formula proposed by A.A.Minkh and A.N.Marzeev  $S = \frac{C/V}{K_2 - K_b}$ , which is thus its asymptotic solution.

Fig. 1. Nomograms for graphic determination of air-exchange frequency S.

Fig. 2. Example of change in carbon dioxide concentration ( $K_2$ ) in relation to time spent by people in the room (t) for an initial  $\text{CO}_2$  concentration in the room  $K_1=0.045\%$  and air-exchange frequencies  $S = 0.5, 1, 2$  and  $3$ .

Figure 2 illustrates change in concentration  $K_2$  in dependence on time  $t$  at  $K_b = 0.035\%$ ,  $K_1 = 0.045\%$  and  $C/V = 0.08\%$ . As an example, we will consider the curve  $S = 0.5$ . After the first hour (at  $t = 1$ ) the average  $\text{CO}_2$  concentration in the room  $K_{2.1} = 0.1046\%$ , after the second hour  $K_{2.2} = 0.1398\%$ ,  $K_{2.3} = 0.1615\%$ ,  $K_{2.4} = 0.175\%$ ,  $K_{2.5} = 0.183\%$ , and so on. The steady-state value of  $\text{CO}_2$  concentration in the room will be  $K_2 = 0.195\%$ . If we now calculate the air-exchange frequency  $S$  from the Minkh formula, we find that after the first hour

$$S_1 = \frac{0.08}{0.1046 - 0.035} = 1.15,$$

after the second  $S_2 = 0.76$ ;  $S_3 = 0.63$ ;  $S_4 = 0.57$ , and  $S_5 = 0.54$ . In fact, the air-exchange frequency is unchanged and is equal to 0.5. Thus, when using the Minkh formula for calculating air-exchange frequency  $S$ , air should be sampled at equal time intervals until the calculated values of  $S$  differ only insignificantly, or the applicability of the Minkh formula should be checked by the criterion  $St > 2.5$ . In fact, the said method of air sampling corresponds to the solution of equations (1) and (2) by the method of successive approximations. This method is a general method of solving equations (1) or (2). Clearly, when using equation (1) or (2) for calculating air-exchange frequency  $S$  such a sampling procedure is not required. It may be carried out only for the sake of checking the constancy of the parameter  $S$  when carrying out an experiment. If there are no  $\text{CO}_2$  sources in the room (for example, people are in the room before the experiment and leave the room at the start), from expression (1) at  $C = 0$  we obtain

$$S = \frac{1}{t} \ln \frac{K_1 - K_b}{K_2 - K_b}$$

or at  $t = 1$

$$S = \ln \frac{K_1 - K_b}{K_2 - K_b} (K_1 > K_2).$$

The expression obtained coincides with the formula proposed by Seidel for calculation of air-exchange frequency  $S$ .

Thus, the results obtained permit the substantiated use of formulae known in the literature for calculation of air-exchange frequency in rooms, using  $\text{CO}_2$  concentration as an indicator. However, expression (1) is also suitable for those cases when any other chemical substance serves as the indicator.

BIBLIOGRAPHY

Marzeev A.N. Kommunal'naya gigiena (Public health). Moscow, 1951.

Minkh A.A. Metody gigienicheskikh issledovaniij (Health investigation methods). Moscow, 1967.

Received 20.VII.1978

кацию выделенных сальмонелл осуществляли по общепринятой методике.

Всего при исследовании 514 образцов пищевых продуктов сальмонеллы были найдены в 24, в том числе в 8 случаях *S. typhimurium*, в 6 *S. derby*, в 4 *S. anatum*, в 3 *S. heidelberg*, в 1 *S. brandenburg*, в 1 *S. newport* и в 1 *S. pulborg*. Продукты, которые употребляются в пищу без предварительной термической обработки, оказались свободными от сальмонелл, что свидетельствовало о соблюдении технологии при их изготовлении.

Данные о чувствительности общепринятого метода по сравнению с методом, основанном на подвижном росте, показывают, что общая высеваемость при использовании последнего в 3 раза выше, чем при обычном, а непосредственный посев на среды для подвижного роста позволил обнаружить сальмонеллы в большем числе образцов, чем все вместе взятые посевы при обычном способе исследования.

Полученные результаты, как и данные других исследователей (Fung и Kraft), изучавших эффективность накопления сальмонелл в процессе их миграции через полужидкие среды, свидетельствуют о высокой эффективности метода подвижного роста для обнаружения сальмонелл в пищевых продуктах и других объектах внешней среды.

ЛИТЕРАТУРА. Литинский Ю.И., Герок Г.И., Сидоровский Ю.И. и др. — Ж. микробиол., 1976, № 5, с. 81—86. — Литинский Ю.И., Герок Г.И., Сидоровский Ю.И. и др. — Там же, № 6, с. 73—76. — Chau Y., Huang T. — J. clin. Path., 1974, v. 27, p. 405—407. — Fung D., Kraft A. — Poultry Sci., 1970, v. 49, p. 46—54. — Stuart Ph., Rivnick H. — Appl. Microbiol., 1965, v. 13, p. 365—372.

Поступила 14/IV 1978 г.

J. D. Allen

## За рубежом

УДК 644.1+625.8

Р. Я. Бераха

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИЯХ БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Институт гигиены и профзаболеваний, Медицинская академия, София, НРБ

В гигиенических исследованиях принято определять кратность воздухообмена  $S$  в помещениях бытового назначения через концентрацию углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ). Для расчета  $S$  А. А. Минхом, А. Н. Марзеевым, Seidel (цит. Р. Мечкуев) и др. предложены различные выражения, использование которых без обоснования может привести к различной (а иногда и противоречивой) гигиенической интерпретации одних и тех же экспериментальных данных.

Цель настоящей работы — дать общий вывод величины  $S$  и на этой основе уточнить применимость предложенных указанными авторами формул для расчета кратности воздухообмена  $S$ .

Будем рассматривать помещение с объемом  $V$  (в кубических метрах) и концентрацией  $\text{CO}_2$  в начальный момент проведения эксперимента  $K_1$ ,  $K_b$  — концентрация  $\text{CO}_2$  в поступающем извне в помещение воздухе ( $K_b$  обычно в пределах 0,03—0,04%),  $C$  — количество производимого находящимися в помещении людьми  $\text{CO}_2$  за 1 ч. Количество поступающего в помещение воздуха за 1 ч будет  $SV$ . Пусть  $n$  — среднее число выдохов находящихся

61

СГГ. SANIT. BERAKHA, R. 1979 (2) 61-4.

в помещении людей за 1 ч. За время  $\frac{1}{n}$  (после первого обмена) среднее количество  $\text{CO}_2$  в помещении увеличится на величину  $\frac{C}{n}$ . За это же время в поступившем в помещение воздухе (объема  $\frac{SV}{n}$ ) будет содержаться  $\frac{SV}{n} K_b$  углекислого газа, а в уходящем из помещения —  $\frac{SV}{n} K_1$ . Таким образом, средняя концентрация  $\text{CO}_2$  в помещении после первого обмена (через время  $\frac{1}{n}$ ) будет:

$$K_{1,1} = \frac{\left(V - \frac{SV}{n}\right)K_1 + \frac{C}{n} + \frac{SV}{n}K_b}{V} = \left(1 - \frac{S}{n}\right)K_1 + \frac{1}{V} \frac{C}{n} + \frac{S}{n} K_b.$$

Для средней концентрации  $K_{1,2}$   $\text{CO}_2$  в помещении после второго обмена (через время  $\frac{2}{n}$ ) аналогично будем иметь:

$$K_{1,2} = \left(1 - \frac{S}{n}\right)K_{1,1} + \frac{1}{V} \frac{C}{n} + \frac{S}{n} K_b = \left(1 - \frac{S}{n}\right)^2 K_1 + \\ + \frac{1}{V} \frac{C}{n} \left[1 + \left(1 - \frac{S}{n}\right)\right] + \frac{S}{n} K_b \left[1 + \left(1 - \frac{S}{n}\right)\right]$$

и т. д. В конце первого часа для концентрации  $\text{CO}_2$  в помещении  $K_{1,n}$  получится:

$$K_{1,n} = \left(1 - \frac{S}{n}\right)K_{1,n-1} + \frac{1}{V} \frac{C}{n} + \frac{S}{n} K_b = \left(1 - \frac{S}{n}\right)^n K_1 + \\ + \left(\frac{C}{V} + K_b\right) \left[1 - \left(1 - \frac{S}{n}\right)^n\right].$$

По физиологическим данным,  $n$  больше 300. Это дает возможность упростить верхнее выражение и получить следующую формулу для расчета средней концентрации  $\text{CO}_2$  в помещении  $K_2$  после  $t$  часов от начала эксперимента:

$$K_2 = K_1 e^{-St} + \left(\frac{1}{S} \frac{C}{V} + K_b\right) (1 - e^{-St}). \quad (1)$$

В выражении (1)  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_b$ ,  $C$  и  $t$  известны по данным проводимого эксперимента, единственная неизвестная величина — кратность воздухообмена  $S$ .

Полученное нами уравнение (1) совпадает с решением дифференциального уравнения Ленца (т. А. Н. Марзеев), полученного им исходя из предположения, что выделение  $\text{CO}_2$  находящимся в помещении источником происходит непрерывно. Таким образом, независимо от типа источника для расчета кратности воздухообмена  $S$  следует пользоваться выражением (1).

Если эксперимент длится 1 ч, то

$$K_2 = K_1 e^{-S} + \left(\frac{1}{S} \frac{C}{V} + K_b\right) (1 - e^{-S}). \quad (2)$$

На рис. 1 приведены nomограммы для графического определения кратности воздухообмена  $S$  по уравнению (2) в зависимости от величин  $K_2$  и  $\frac{C}{V}$  при концентрации  $\text{CO}_2$  в наружном воздухе  $K_b=0,035\%$  и начальной концентрации  $\text{CO}_2$  в помещении  $K_1$ , равной 0,035, 0,045, 0,055 и 0,065%. Например, если  $K_1 = 0,035\%$ ,  $\frac{C}{V} = 0,10\%$ , и  $K_2 = 0,078\%$ , по первой nomogramme находим, что  $S=2$ . Если начальная концентрация в помещении  $K_1$  не совпадает с приведенными на рис. 1 данными, кратность воздухообмена  $S$  можно снова найти по nomogrammам на рис. 1 линейной интерполяцией. Например, пусть  $K_1=0,042\%$ ,  $\frac{C}{V}=0,07\%$ ,  $K_2 = 0,09\%$ . По

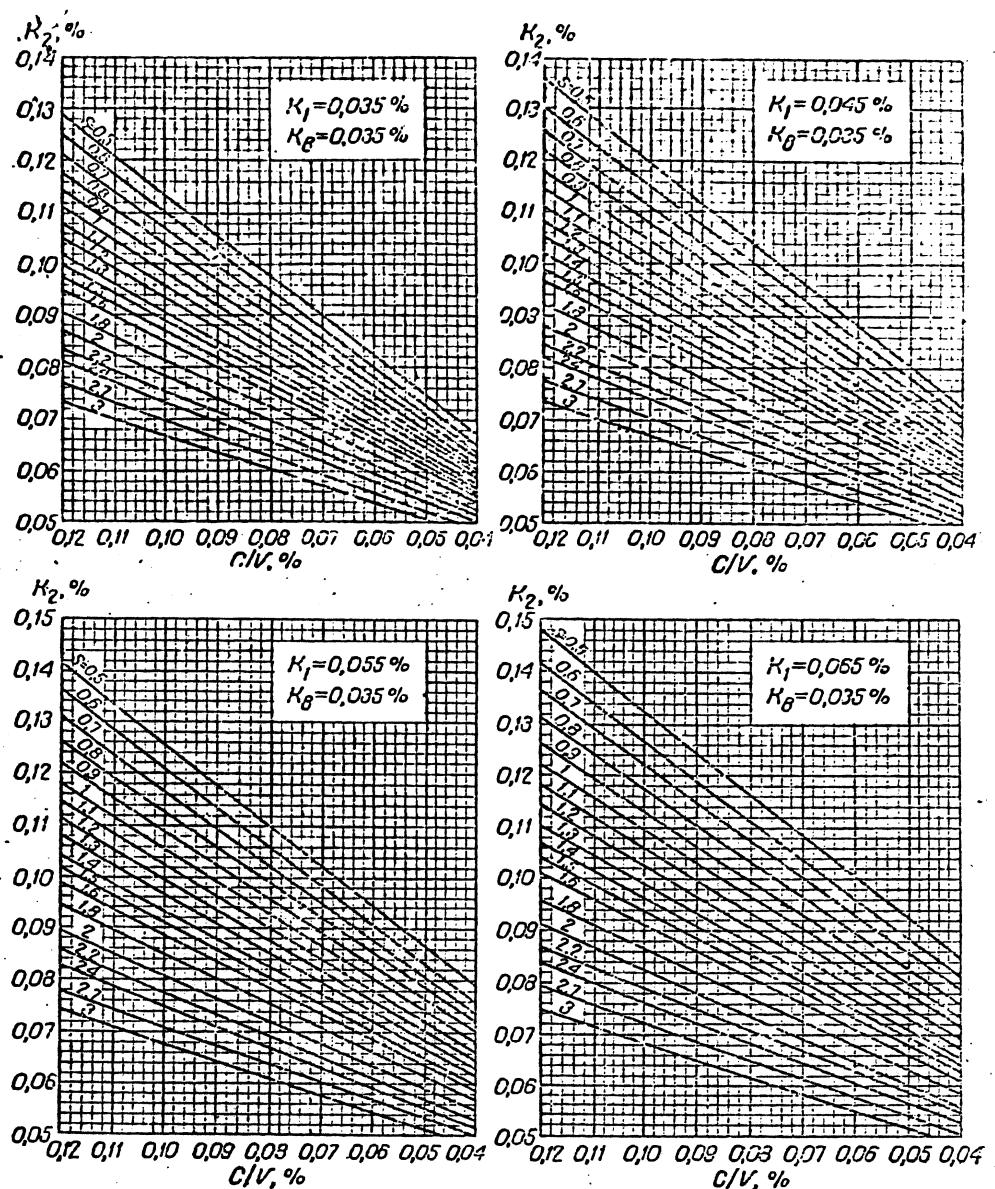


Рис. 1. Номограммы для графического определения кратности воздухообмена  $S$ .

первой номограмме ( $K_1 = 0,035\%$ ) находим, что  $S_1 = 0,5$ , по второй номограмме ( $K_1 = 0,045\%$ ) —  $S_2 = 0,7$ . Тогда

$$S = S_1 + (S_2 - S_1) \frac{0,042 - 0,035}{0,045 - 0,035} = 0,5 + 0,2 \cdot 0,7 = 0,64.$$

Из формул (1) и (2) можно получить используемые в гигиенической практике выражения для расчета  $S$  и указать на их применимость. Если  $St \gg 1$ , из уравнения (1) получится предложенная А. А. Минхом и А. Н. Марзеевым формула  $S = \frac{C/V}{K_2 - K_b}$ , которая, таким образом, является его асимптотическим решением.

На рис. 2 иллюстрируется изменение концентрации  $K_2$  в зависимости от времени  $t$  при  $K_b = 0,035\%$ ,  $K_1 = 0,045\%$  и  $\frac{C}{V} = 0,08\%$ . Рассмотрим в качестве примера кривую  $S=0,5$ . После первого часа (при  $t=1$ ) средняя

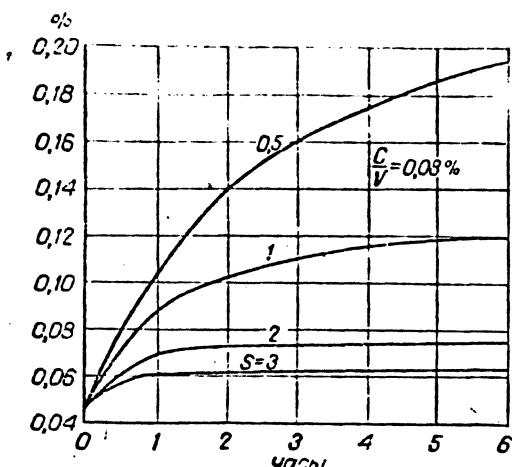


Рис. 2. Пример изменения концентрации углекислого газа ( $K_2$ ) в зависимости от времени пребывания людей в помещении ( $t$ ) при начальной концентрации  $\text{CO}_2$  в нем  $K_1 = 0,045\%$  и кратностях воздухообмена  $S = 0,5, 1, 2$ , и  $3$ .

пока рассчитываемые величины  $S$  будут отличаться друг от друга несущественно, либо проверять применимость формулы Минха критерием  $St \geq 2,5$ . Кстати, указанный способ отбора проб воздуха соответствует решению уравнения (1) и (2) методом последовательных приближений. Этот метод является общим способом решения уравнения (1) или (2). Очевидно, при использовании уравнения (1) или (2) для расчета кратности воздухообмена  $S$  такой процедуры отбора проб не требуется. Ее можно проводить только ради проверки постоянства параметра  $S$  при выполнении эксперимента.

Если в помещении нет источников  $\text{CO}_2$  (например, люди находятся в помещении до проведения эксперимента и в начальный момент выводятся из помещения), из выражения (1) при  $C=0$  получается

$$S = \frac{1}{t} \ln \frac{K_1 - K_b}{K_2 - K_b}$$

или при  $t=1$

$$S = \ln \frac{K_1 - K_b}{K_2 - K_b} (K_1 > K_2).$$

Полученное выражение совпадает с предложенной Seidel формулой для расчета кратности воздухообмена  $S$ .

Таким образом, полученные результаты позволяют обоснованно пользоваться известными в литературе формулами для расчета кратности воздухообмена в помещениях, применяя в качестве индикатора концентрацию  $\text{CO}_2$ . Однако выражение (1) годно и для тех случаев, когда индикаторами служит любое другое химическое вещество.

ЛИТЕРАТУРА. Марзев А. Н. Коммунальная гигиена. М., 1951.— Минх А. А. Методы гигиенических исследований. М., 1967.

Поступила 20/VII 1978 г.