

УДК 574.24:614.7

МЕТОДИКА УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ

*канд. техн. наук В.А. РЫБАК
(РУП «БелНИЦ «Экология», Минск)*

Проведено исследование ряда промышленных предприятий для выявления и оценки влияния факторов производственной среды на здоровье людей. Предложен новый подход к учету влияния физических факторов среды (шум и температура) на здоровье работающих. Получены статистически значимые зависимости, составлены уравнения регрессии, осуществлен прогноз состояния здоровья при изменении факторов производственной среды.

Сложная экологическая ситуация, возникшая в ряде городов нашей республики, обусловлена многокомпонентностью загрязнения окружающей среды и воздуха рабочих зон. В связи с этим возникает необходимость систематического изучения состояния здоровья населения, проживающего и работающего в реальных условиях сложных экологических ситуаций, прежде всего для проверки надежности действующих гигиенических регламентов – предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных воздействий на человека в окружающей человека среде – в населенных местах и на производстве.

Решение поставленной задачи базируется на ретроспективном анализе материалов, собираемых центрами государственного санитарно-эпидемиологического надзора и органами Министерства здравоохранения, с целью выявления возможных взаимозависимостей в системе «состояние окружающей среды – здоровье человека».

Исходя из задач, поставленных выше, нами были проведены исследования ряда предприятий с целью выявления зависимостей между санитарно-гигиеническими условиями и показателями заболеваемости работающих на данных предприятиях. Для оценки степени загрязненности воздуха в производственных помещениях нами была использована стандартная методика расчета комплексного показателя загрязненности p , которая основывается на учете степени превышения концентраций вредных веществ в воздухе по отношению к установленным ПДК [1].

Для осуществления сопоставимого анализа и выявления особенностей формирования санитарно-гигиенической и медико-экологической обстановки нами были исследованы данные ряда предприятий и их подразделений (цехов, мастерских и пр.) различных отраслей и форм собственности на протяжении нескольких лет.

Для исследований использовалась информация об уровне заболеваемости работающих (общей и по отдельным заболеваниям), эргономических условиях труда, уровне химического загрязнения производственной среды и фактах превышения предельно допустимого уровня различными физическими показателями (шум, температура) с учетом численности работающих и количеством обследованных рабочих мест (табл. 1).

Таблица 1

Показатели общей заболеваемости, среднесписочной численности рабочих и общего количества обследуемых мест на промышленных предприятиях

Предприятие	Средняя численность за 1995 – 2000 гг.	Общее количество обследованных рабочих мест
Завод «Гомсельмаш»	10630	3912
Завод «Гомельдрев»	4481	1141
Гомельский завод «Гидропривод»	1715	858
Гомельский завод пластмассовых изделий	698	342
Завод «Гомелькабель»	620	300
Гомельский завод пусковых двигателей	2271	912
Гомельский стекольный завод	2842	380
Гомельский завод «Центролит»	1968	966
Гомельский завод строительных материалов	1127	378
Минский автопарк № 1	374	153
Минский мотовелозавод	873	351
Минский камвольный комбинат	287	84
Завод «Минскдрев»	1217	427
Минский тракторный завод	2341	573
Минский автомобильный завод	2750	826

В период с 1995 по 2000 годы объем исследований на промышленных предприятиях составил 34194 работающих, общее количество обследованных мест составило 11603.

В ходе исследований, выполненных с целью выявления влияния загрязнения воздуха на рабочих местах промышленных предприятий разных отраслей на заболеваемость работников (общую и по отдельным группам болезней), предприятия были разделены на две группы – наблюдаемую и контрольную. В качестве контрольной группы нами были выбраны предприятия сферы торговли города Гомеля, где уровень загрязненности производственной среды принимается близким к нулю – фоновое значение. В наблюдаемую группу вошли шесть исследованных предприятия Гомеля (табл. 2).

Такое деление, на наш взгляд, позволило выявить даже несущественные отклонения в уровнях заболеваемости работников различных предприятий при незначительных изменениях степени загрязненности в ту или иную сторону.

Таблица 2

Данные по общей заболеваемости и уровню загрязненности воздуха

Предприятие	Усредненный уровень заболеваемости, случаи на 100 чел.	Интегральный показатель загрязненности воздуха p
Предприятия торговли, г. Гомель	$65,9 \pm 4,3$	0
Завод «Центролит»	$87,3 \pm 9,7$	0,46
Завод «Гомельстекло»	$125,96 \pm 14,1$	0,88
Гомельский завод строительных материалов	$75,1 \pm 6,6$	0,5
Завод «Гомельдрев»	$124,5 \pm 9,1$	0,3
Завод «Гомелькабель»	$63,6 \pm 5,8$	0,1
Гомельский завод пластмассовых изделий	$78,7 \pm 6,8$	0,6

В данном случае первая из задач выявления связи между заболеваемостью и состоянием загрязнения среды решалась нами при помощи оценки достоверности имеющихся различий. Степени достоверности можно оценить по критерию – « t » [1, 3], который характеризует различия между парами совокупностей данных о заболеваемости. Полученные нами результаты подтверждают наличие влияния на уровень заболеваемости работников состояния производственной среды.

С другой стороны, характер зависимостей отдельных показателей заболеваемости и факторов, определяющих состояние производственной среды на предприятиях, весьма сложен (рис. 1).

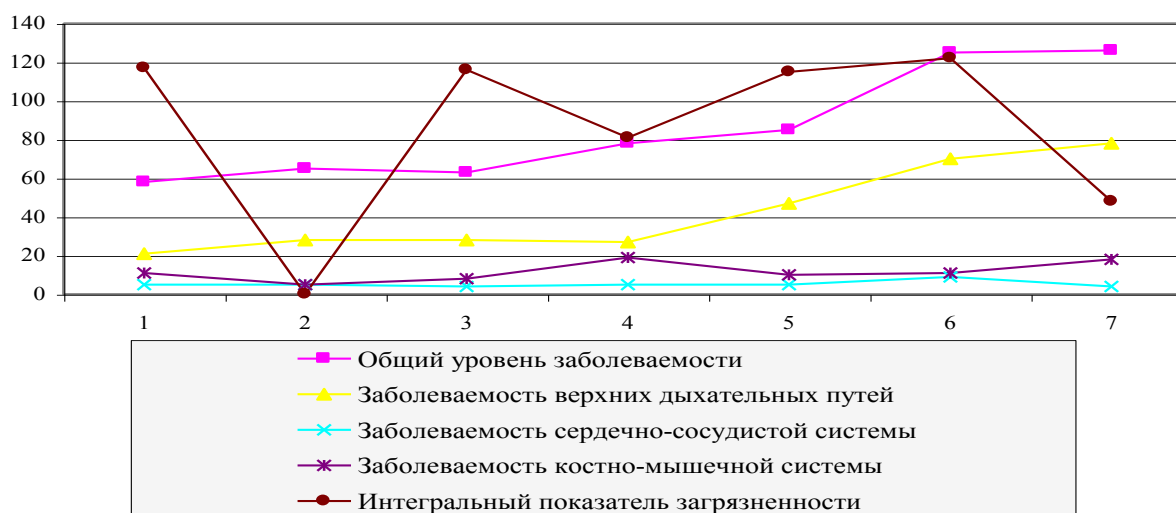


Рис. 1. Графики показателей заболеваемости и условий труда:

- 1 – Гомельский завод пластмассовых изделий; 2 – предприятия торговли;
3 – Завод «Гомелькабель»; 4 – Гомельский завод строительных материалов;
5 – Завод «Центролит»; 6 – Завод «Гомельдрев»; 7 – Завод «Гомельстекло»

В связи с этим, учитывая наличие существенных достоверных различий между уровнем заболеваемости на различных предприятиях, нами были проведены дополнительные исследования, направленные на выявление конкретных факторов, оказывающих влияние на заболеваемость работающих.

Для количественной оценки характеристик состояния производственной среды был использован стандартный методологический подход, уже длительное время применяемый для обоснования нормати-

вов предельного содержания токсических примесей в составляющих окружающей среды [1]. В качестве основных параметров мы использовали класс опасности вещества и степень превышения установленного норматива его содержания в воздухе рабочей зоны согласно количественным критериям, представленным в таблице 3.

Таблица 3

Основные параметры для расчета степени загрязненности воздуха для одного загрязнителя

Уровень загрязнения атмосферного воздуха	Кратность превышения ПДК			
	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4- класс
Допустимый	1,0	1,0	1,0	1,0
Слабый	1,1 – 1,6	1,1 – 2,5	1,1 – 3	1,1 – 3,5
Умеренный	1,7 – 2,5	2,6 – 5,5	3,1 – 9,0	3,6 – 12,0
Сильный	2,6 – 3,2	5,6 – 9,0	9,1 – 16,0	12,1 – 25,0
Очень сильный	≥ 3,3	≥ 9,1	≥ 16,1	≥ 25,1

Для конкретного вещества определение степени загрязненности атмосферного воздуха производится с учетом кратности превышения ПДК в зависимости от класса опасности вещества. При этом в соответствии с принципом пороговости считается, что соблюдение норматива (ПДК и др.) гарантирует отсутствие неблагоприятных для здоровья эффектов, а превышение норматива может вызвать неблагоприятные для здоровья эффекты. Однако отсутствует практический механизм определения конкретных форм отрицательного воздействия и их количественного выражения.

При наличии в атмосферном воздухе комплекса веществ используем подходы к оценке загрязнения атмосферного воздуха, основывающиеся на «Санитарно-гигиенических нормативных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест и правилах их применения» [1]. Если содержание вредных примесей не превышает установленные нормативы ПДК, то это расценивается как ситуация, при которой риск неблагоприятных для здоровья эффектов отсутствует. В том случае, когда загрязнение превышает эти нормативы, необходимо определить суммарный показатель загрязнения p .

Очевидно, что указанный показатель в наибольшей степени позволяет учесть риск возникновения немедленных эффектов, появляющихся непосредственно в момент воздействия, вплоть до острых отравлений. В меньшей степени он пригоден для оценки риска появления неспецифической патологии снижения иммунитета, т.е. возникновения отложенных неблагоприятных эффектов при накоплении достаточной для этого дозы.

Частично такие эффекты учтены в предложенной нами методике путем включения в суммарный показатель p степени загрязненности воздуха и случаев наличия на рабочих местах соответствующих токсичных веществ с концентрациями ниже ПДК.

Учитывая большой объем первичной информации, характеризующей степень неблагоприятного воздействия на рабочих местах, была произведена предварительная группировка данных, объединяя рабочие места с загрязнением токсичными веществами ниже ПДК, с уровнем (1 – 2)ПДК, (2 – 4)ПДК, и свыше 4-х ПДК.

С учетом существующих весовых коэффициентов для определения степени вредности веществ, предложенных значений для базового третьего класса опасности и формата входных данных весовые коэффициенты для вычисления интегрального показателя загрязнения имеют вид (табл. 4).

С учетом вышесказанного, показатель загрязненности (ПЗ) атмосферного воздуха производственных помещений может быть рассчитан по формуле:

$$ПЗ = \frac{\sum_i \sum_j N_{ij} k_{ij}}{N_{общ}}, \tag{1}$$

где N_{ij} – количество рабочих мест, имеющих i -й уровень загрязнения по j -му загрязнителю; k_{ij} – взвешивающий коэффициент, определяемый по таблице 4; $N_{общ}$ – общее количество работников на данном предприятии.

Интегральный показатель загрязнения (ПЗ) рассчитывается следующим образом.

Для всех химических загрязнителей с учетом их класса опасности (справочные данные) и степени загрязнения вычисляется произведение количества случаев каждого уровня загрязнения (1 – 4) и коэффициента из таблицы 4.

Суммируются все произведения, полученные на первом шаге по всем загрязнителям (для всех классов и уровней).

Полученная сумма делится на общее количество работников на данном предприятии.

Полученный таким образом интегральный показатель загрязнения отражает степень воздействия химических загрязнителей (нагрузку) на работников данного предприятия.

Однако в вышеуказанной методике расчета ПЗ не учитывается воздействие физических загрязнителей, таких как температура и шум, неблагоприятность которых также была доказана в ходе проведенных исследований. Исходя из вышесказанного, нами была разработана новая методика, учитывающая оценку уровня физических загрязнителей в ПЗ. При этом на основании норм предельно допустимого уровня (ПДУ) полагается, что физические загрязнители шум и температура относятся к базовому третьему классу опасности.

Согласно вышесказанному нами была предложена следующая формула для расчета интегрального показателя загрязненности условий труда:

$$P_{\text{усл.труда}} = ПЗ + (\text{шум} \cdot \kappa_{ш} + T \cdot \kappa_{т}) / N_{\text{общ}}, \quad (2)$$

где ПЗ (1); шум – количество случаев превышения ПДУ для шума; $\kappa_{ш}$, $\kappa_{т}$ – взвешивающие коэффициенты из таблицы 4; T – количество случаев превышения ПДУ для температуры; $N_{\text{общ}}$ – общее количество работников на данном предприятии.

Таблица 4

Весовые коэффициенты для расчета интегрального показателя загрязненности

Уровень загрязнения	Класс опасности			
	4	3	2	1
Ниже ПДК	0,8	1	1,5	2
Выше в 1,1 – 2 раз	1,6	2	3	4
Выше в 2 – 4 раза	3,2	4	6	8
Более чем в 4 раза	6,4	8	12	16

Для проведения дальнейших исследований нами была модифицирована стандартная методика оценки влияния загрязненности [1]. Так, в частности, было предложено учитывать в вычислении интегрального показателя загрязненности не только случаи превышения предельно допустимой концентрации (ПДК), но также и случаи загрязнения которые удовлетворяют существующим нормативным показателям, то есть ниже ПДК. Такое решение было принято, во-первых, потому, что низкие концентрации приносят малую часть в комплексный показатель при малой частоте проявления и не могут исказить общей картины. Во-вторых, ПДК не учитывает индивидуальную повышенную чувствительность к какому-либо неблагоприятному фактору. И, в-третьих, утверждение о безопасности того или иного вещества с концентрацией ниже ПДК может выноситься только после полной клинико-гигиенической апробации, но к настоящему времени такую проверку прошли не более 30 химических веществ из более чем 2500 имеющих ПДК [2]. Истинность данного заключения подтверждается практическими результатами, полученными, например, на заводе «Гомелькабель», где практически отсутствуют факты превышения ПДК, но общий показатель заболеваемости достаточно высок (табл. 5).

Таблица 5

Данные о заболеваемости и случаях загрязнения производственной среды

Предприятие	Уровень общей заболеваемости, случаи на 100 чел.	Количество случаев загрязнений выше ПДК, ПДУ	Количество случаев загрязнений ниже ПДК, ПДУ
«Гомельстекло»	125,9 ± 14,1	36	31
«Гомельдрев»	124,5 ± 9,1	109	81
«Центролит»	87,3 ± 9,7	83	83
«Гомельстройматериалы»	75,1 ± 6,6	34	28
«Гомелькабель»	63,6 ± 5,8	1	49
«Гомельпластмас»	78,7 ± 6,8	12	35

В ходе исследований нами была установлена прямая зависимость между уровнем заболеваемости верхних дыхательных путей и фактами превышения ПДУ по показателю «температура» (рис. 2) Коэффициент корреляции равен 0,4.



Рис. 2. Диаграмма зависимости уровня заболеваемости верхних дыхательных путей от количества случаев превышения ПДУ по температуре:
 1 – предприятия торговли; 2 – Завод «Центролит»; 3 – Завод «Гомельстекло»;
 4 – Гомельский завод строительных материалов; 5 – Завод «Гомельдрев»;
 6 – Завод «Гомелькабель»; 7 – Гомельский завод пластмассовых изделий

Кроме того, была установлена прямая зависимость между количеством случаев превышения ПДУ по показателю «шум» и заболеваниями сердечно-сосудистой системы, что наглядно отражено на рисунке 3. Коэффициент корреляции равен 0,7.

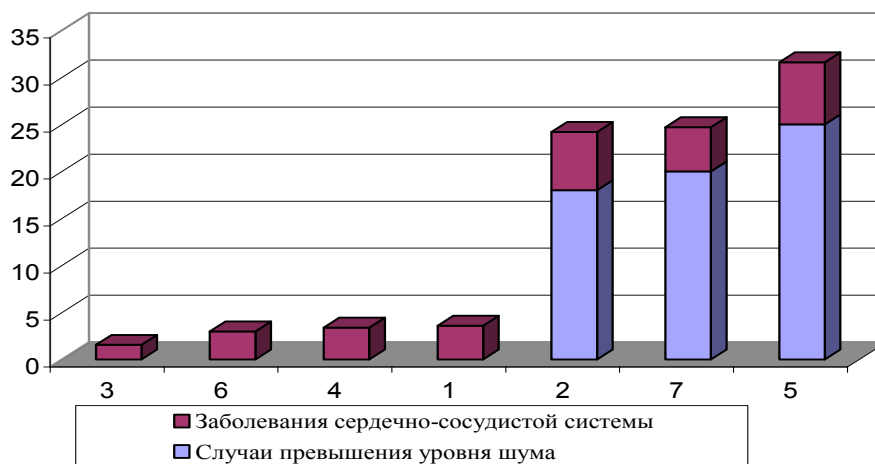


Рис. 3. Диаграмма зависимости уровня заболеваемости сердечно-сосудистой системы от количества случаев превышения ПДУ по шуму:
 1 – предприятия торговли; 2 – Завод «Центролит»; 3 – Завод «Гомельстекло»;
 4 – Гомельский завод строительных материалов; 5 – Завод «Гомельдрев»;
 6 – Завод «Гомелькабель»; 7 – Гомельский завод пластмассовых изделий

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что предложенная нами методика является оптимальной и достаточной для оценки влияния степени загрязнения воздуха на рабочих местах на показатель общей заболеваемости, а также и на отдельные группы болезней. Была установлена также зависимость между уровнем сердечно-сосудистых заболеваний и величиной интегрального показателя загрязненности (рис. 4). Коэффициент корреляции равен 0,6.

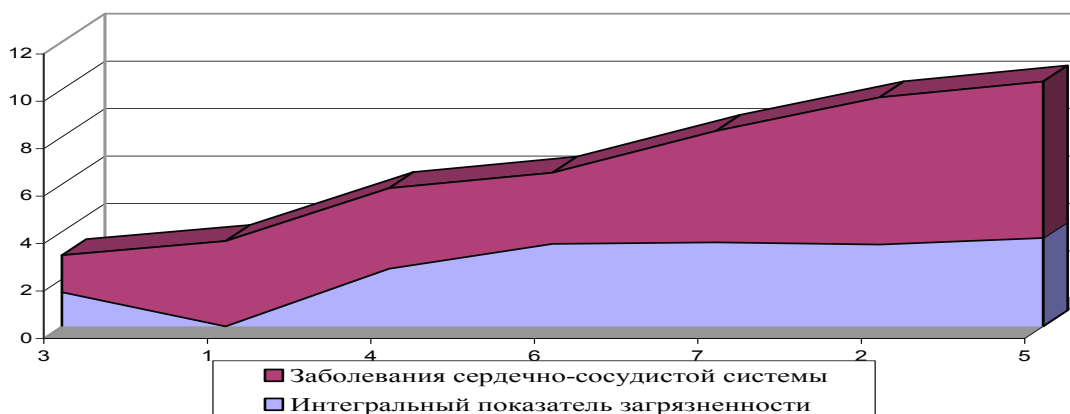


Рис. 4. Диаграмма зависимости уровня заболеваемости сердечно-сосудистой системы от уровня интегрального показателя загрязненности
 1 – предприятия торговли; 2 – Завод «Центролит»; 3 – Завод «Гомельстекло»;
 4 – Гомельский завод строительных материалов; 5 – Завод «Гомельдрев»;
 6 – Завод «Гомелькабель»; 7 – Гомельский завод пластмассовых изделий

Однако вышесказанное справедливо для достаточно обследованных предприятий, где соотношение числа обследуемых мест к общему числу работающих близко или более 10 % (табл. 5).

Таблица 5

Уровни обследованности предприятий

Предприятие	Уровень обследованности, %
Завод «Гомельстекло»	2
Завод «Гомельдрев»	9
Завод «Центролит»	9
Гомельский завод строительных материалов	5,5
Завод «Гомелькабель»	9
Гомельский завод пластмассовых изделий	8

Необходимо также отметить, что использование данной методики позволяет не только оценивать существующие показатели, но и на основании полученных зависимостей прогнозировать уровень заболеваемости в зависимости от изменения показателей загрязнения в ту или иную сторону.

Исследования в системе «окружающая среда – здоровье населения» представляют наибольшую ценность в том случае, когда статистическими методами удастся построить уравнение регрессии, отражающее количественную связь между состоянием здоровья населения, так как коэффициенты этого уравнения имеют важный смысл с точки зрения системы оценки риска. Так, в простейшем случае, когда оценивается один из показателей заболеваемости (например, болезни сердца – HD) и один из факторов окружающей среды (например, комплексный показатель загрязнения воздуха – p), а зависимость предполагается прямо пропорциональной, это уравнение приобретает вид (3):

$$HD = a + bp, \quad (3)$$

где коэффициент a характеризует уровень заболеваемости, не зависящий от загрязнения воздуха, а коэффициент b характеризует риск и показывает, на какое количество случаев увеличится (уменьшится) заболеваемость при увеличении (уменьшении) загрязнения воздуха на одну единицу комплексного показателя.

Для компьютерной обработки данных был использован разработанный нами программный комплекс, что позволило получить следующие значения коэффициентов для исследованных предприятий (табл. 6).

Таблица 6

Коэффициенты регрессионного анализа

Коэффициент корреляции	0,66
Коэффициент a	1,17
Коэффициент b	32,86
Стандартная ошибка a	1,59
Стандартная ошибка b	16,54

При трактовке значений следует обратить внимание на следующее. Значение коэффициента корреляции (0,66) свидетельствует о высокой степени связи между загрязнением и заболеваемостью (болезни сердца). При этом фоновое значение заболеваемости, т.е. не зависящее от загрязнения воздуха (коэффициент a), было спрогнозировано на уровне $1,17 \pm 1,59$ случаев на 100 работников, а фактор риска (коэффициент b) $32,86 \pm 16,54$. Это свидетельствует о том, что при изменении загрязнения воздуха на одну десятую комплексного показателя риск для здоровья населения (заболеваний сердца) изменится на $3,29 \pm 1,65$ случаев на 100 рабочих. Это значит, например, что, при уменьшении на заводе «Центролит» уровня загрязнения по всем веществам до предельно допустимых концентраций ожидаемый уровень заболеваемости сердечной системы снизится на 2 случая на 100 работников.

Новизна данного подхода заключается в применении нового метода для расчета комплексного показателя загрязненности производственной среды. Следует отметить, что при использовании существующих на сегодняшний день комплексных показателей загрязненности, оценивающих качество производственной среды, коэффициент корреляции получается значительно ниже, что не позволяет строить адекватные модели прогнозирования.

Таким образом, в ходе проведенных нами исследований удалось создать новую методику комплексной оценки влияния факторов загрязнения производственной среды на здоровье работающих. Полученная методика позволяет объективно оценивать неблагоприятные воздействия химических, физических загрязнителей и эргономических условий труда. Ценность данной методики заключается также в том, что на основании выявленных нами связей в системе «производственная среда – здоровье работающих» появляется возможность при комплексной оценке риска строить модель для прогнозирования изменения уровня заболеваемости работающих в зависимости от изменения того или иного фактора загрязнения производственной среды [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по гигиенической оценке качества атмосферного воздуха и эколого-эпидемиологической оценке риска для здоровья населения: МР 113-9711 от 10.02.1998. – Мн., 1998. – С. 15 – 48.
2. Филонов В.П., Соколов С.М., Науменко Т.Е. Эколого-эпидемиологическая оценка риска для здоровья человека качества атмосферы. – Мн., 2001. – 187 с.
3. Рыбак В.А. Математическое и программное обеспечение автоматизированной оценки влияния факторов окружающей среды на здоровье населения. – Мн.: Институт математики НАН Беларуси, 2003. – 180 с.