

## КАТЕГОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ АТМОСФЕРЫ В ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*По измеренным данным рассчитаны вероятности семи основных категорий устойчивости атмосферы по Пасквиллу в г. Харьков. Получены численные значения метеопараметров, необходимых для проведения расчетов среднегодовых концентраций твердых частиц разного аэродинамического диаметра, что соответствует рекомендациям ВОЗ.*

**Ключевые слова:** метеопараметры, атмосферный воздух, устойчивость атмосферы.

Содержащиеся в атмосферном воздухе взвешенные вещества представляют угрозу для здоровья человека, так как проникают в легкие, вызывая серьезные заболевания. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [1], необходимо контролировать среднегодовые концентрации твердых частиц в атмосферном воздухе диаметрами 2,5 и 10 мкм.

Для рассмотрения влияния выбросов таких предприятий, как ТЭС, на среднегодовую концентрацию твердых частиц в атмосферном воздухе возможно использовать разные подходы при математическом моделировании рассеяния. Одно из главных направлений математического моделирования атмосферной диффузии базируется на применении статистической теории, конечным результатом которого является гауссова модель распределения примеси в облаке выброса. Входные метеорологические параметры при таком подходе получают статистическим усреднением многолетних метеорологических данных.

При этом подходе рассеяние примеси рассматривают в системе координат, связанной с местностью, что позволяет получать распределение концентрации примеси на местности наиболее простым способом [2].

На рассеяние примеси в атмосфере влияет большое число чрезвычайно изменчивых и трудно предсказуемых факторов. Учесть их все в рамках одной математической модели не представляется

возможным. Обычно задачу упрощают, выделяя доминирующие в конкретных условиях и игнорируя остальные факторы влияния. Местные условия отличаются большим разнообразием, поэтому все непрерывные параметры, описывающие распространение примеси в атмосфере, делят на группы и усредняют по большому массиву имеющихся метеоданных. Скорость ветра разбивают на диапазоны, направление ветра описывают значениями в 16 румбах, условия рассеяния примеси распределяют по семи категориям устойчивости атмосферы и т. д.

В практических расчетах условия рассеяния примеси в атмосфере распределяют по категориям устойчивости. В настоящее время предложено несколько систем классификации метеорологических условий. Мы используем самую распространенную систему Пасквилла [3, 4], в которой рассматриваются семь категорий устойчивости атмосферы, распределенных по возрастанию степени устойчивости атмосферы от А (очень неустойчивая) до G (весьма устойчивая). Поэтому представляет интерес на основе многочисленных имеющихся метеоданных, собранных автоматизированной метеостанцией системы «Гамма-1» [5], рассчитать вероятности семи основных категорий устойчивости атмосферы по Пасквиллу, получить среднегодовые значения метеопараметров, необходимые для проведения расчетов среднегодовых концентраций твердых частиц в атмосферном воздухе.

### **Определение категорий устойчивости атмосферы**

В настоящее время используются следующие способы классификации категории устойчивости атмосферы [2].

1. *Способ Пасквилла — Гиффорда* основан на измерении скорости ветра на высоте 10 м, а также качественной оценке инсоляции в дневное время и облачности в ночной период.

2. *Учет вертикального градиента температуры* предполагает определение среднего вертикального градиента температуры между двумя уровнями в окружающей атмосфере. Это наиболее точный высотный способ, основанный на измерении вертикального градиента температуры и скорости ветра.

3. *Учет флуктуации ветра.* Флуктуации направления ветра являются показателем, непосредственно отражающим степень

турбулентности атмосферы. Они могут быть определены с помощью флюгеров, установленных на высоте выброса. В этом способе категория устойчивости определяется по величине горизонтальной угловой дисперсии флуктуации направления ветра.

4. *Измерение баланса приходящей солнечной радиации.* Здесь предполагается непосредственное измерение потока приходящей солнечной радиации. Соответствие между результатами актинометрических измерений, скорости ветра на высоте 10 м над уровнем земли и категориями устойчивости определяют по номограмме.

5. *Учет стандартных данных сетевых метеостанций.* Этот метод в наибольшей степени приемлем для практических расчетов, так как не требует организации каких-либо специальных измерений. Согласно этому методу определяют скорость ветра на высоте 10 м. Если на ближайшей метеостанции актинометрических измерений не производят, то величину приходящей солнечной радиации  $A$ , мВт/см<sup>2</sup>, вычисляют по соответствующей приближенной формуле.

Из всех перечисленных способов определения категорий устойчивости атмосферы в наших условиях наиболее точным является способ № 4 по приходящей солнечной радиации, рекомендованный МАГАТЭ [6]. В данном способе используется параметр стабильности  $P$ , который является непрерывной функцией, хотя погода делится на дискретные диапазоны – категории. Величина солнечной радиации и скорость ветра связаны с атмосферной стабильностью посредством номограммы (рис. 1). Безразмерный параметр  $P$  изменяется от 0 до 7. Кривые для разных скоростей ветра, связывающие величину солнечной радиации с величиной параметра стабильности  $P$ , отмечены на рис. 1 цифрами от 0 до 8. Диапазону изменения параметра  $P$  от 0 до 1 соответствует категория Пасквилла «А», диапазону от 1 до 2 – категория Пасквилла «В» и т. д.

Схема определения категории устойчивости атмосферы по номограмме на рис. 1 следующая: по измеренному потоку солнечной радиации (точка «а») и скорости ветра (серия кривых на рис. 1 с цифрами, указывающими величину скорости ветра) находится точка «б» (скорость, лежащая в диапазоне от 4 до 5 м/с, находится путем интерполяции); затем, проводя перпендикуляр на ось ординат, находим диапазон, в который попала прямая, пересекающая ось ординат

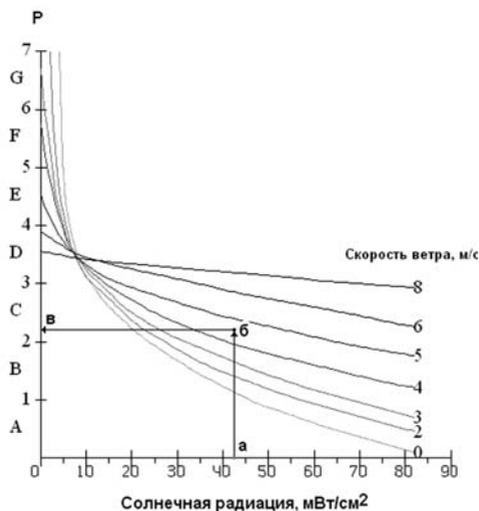


Рис. 1. Соответствие потоков проходящей радиации и скорости ветра категориям устойчивости атмосферы

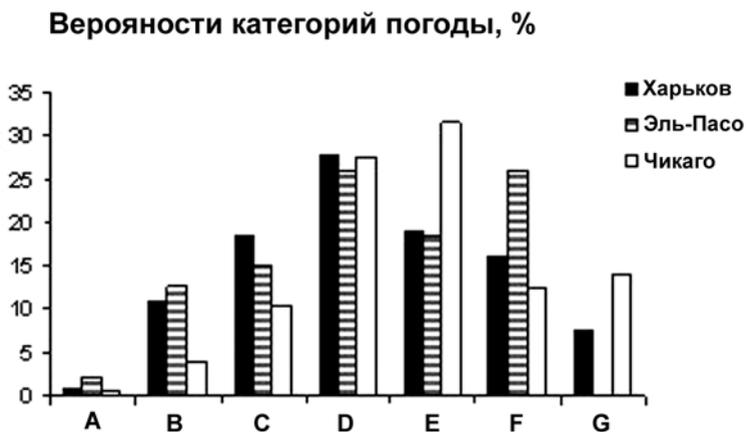


Рис. 2. Вероятности распределения категорий погоды в течение года  
 Левые сплошные столбики – данные в г. Харьков, средние с горизонтальными полосками – данные в г. Эль-Пасо, правые прозрачные столбики – данные в г. Чикаго.

в точке «в», а по нему – категорию. На рис. 1 солнечной радиации  $42,5 \text{ мВт/см}^2$  и скорости ветра  $4,5 \text{ м/с}$  соответствует значение параметра  $P$ , лежащее в диапазоне от 2 до 3 (точка «в»), т. е. категория устойчивости атмосферы «С».

Так как количество данных очень велико (среднечасовые значения за 2005–2006 гг.), то ручной способ неприменим. Все вышеперечисленные операции по определению категории погоды для всех измерений проведены с помощью программы на языке Compaq Visual Fortran версии 6.6. Результаты расчетов приведены на рис. 2. Там же для сравнения приведены вероятности распределения категорий погоды двух американских метеостанций г. Чикаго и г. Эль-Пасо [7]. Результаты приведены в виде гистограммы для трех метеостанций.

Как следует из сравнения наших данных с американскими, распределение вероятности погоды хоть и отличается, но в целом близкое. Вероятность категории погоды «А» мала, наибольшую вероятность имеют категории «С», «D», «Е» и «F». Вероятность категории «G» мала. В г. Эль-Пасо она даже близка к нулю.

### **Среднегодовое значение скорости ветра**

Характер распространения примеси в атмосфере существенно зависит от скорости ветра. Скорость ветра используется при разных способах классификации погодных условий (см. предыдущий раздел). Траектория подъема струи после выброса из труб зависит от скорости ветра. Фактор метеорологического разбавления также зависит от скорости ветра и повторяемости направлений ветра в заданном секторе выброса.

Таким образом, средние значения скорости ветра для заданной категории устойчивости атмосферы и повторяемость направлений ветра в заданном направлении, так называемая роза ветров, задаются при расчетах как одни из основных параметров, влияющих на получение конечных результатов.

Измеренные нами среднегодовые значения скорости ветра приведены на рис. 3. Результаты представлены в виде гистограммы в диапазоне от 0 до  $8 \text{ м/с}$  с интервалом  $0,5 \text{ м/с}$ . По оси ординат показано число зарегистрированных значений для заданного интервала скоростей.

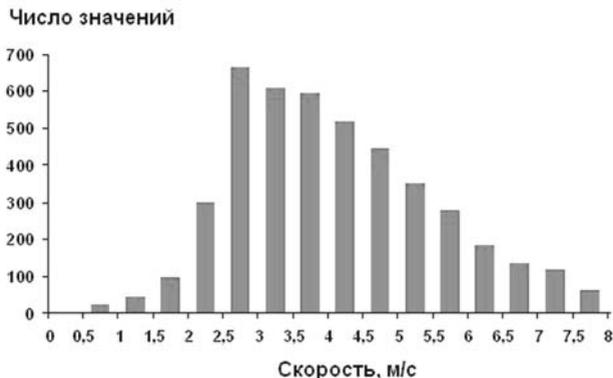


Рис. 3. Распределение скорости ветра по величине

Как следует из приведенных данных, средняя скорость ветра в г. Харьков равна 4,1 м/с. Распределение имеет длинный «хвост» в области больших значений. Измерялись среднечасовые значения всех величин, в том числе и ветра. На протяжении 2005–2006 гг. не зафиксировано среднечасовое значение больше 8 м/с, хотя о порывах ветра до 10–20 м/с часто сообщали метеорологи. Очень мала вероятность скоростей ветра, меньших 2 м/с.

На рис. 4 показаны измеренные среднегодовые значения скорости ветра для всех категорий устойчивости атмосферы в виде гистограммы. Программным путем находилась категория для одного

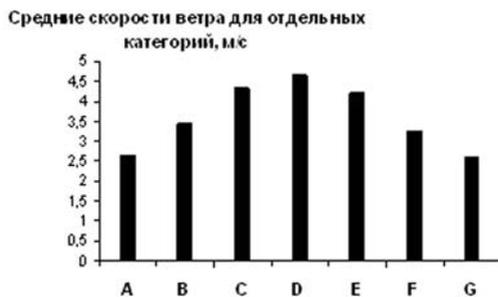


Рис. 4. Среднегодовые скорости ветра для отдельных категорий устойчивости атмосферы

среднечасового значения, а затем все измерения для каждой категории усреднялись.

### Плотность потока солнечной радиации

На характер распространения примеси в атмосфере существенно влияет поток солнечной радиации, достигающий земной поверхности. Под понятием «солнечная радиация» в данной работе понимается энергия Солнца в оптическом диапазоне частот, измеряемая на уровне земли.

Как следует из приведенных на рис. 1 данных, для определенной скорости ветра значение величины потока солнечной радиации определяет величину параметра стабильности, а значит, и категорию стабильности атмосферы. Данные, приведенные на рис. 1, свидетельствуют, что с увеличением потока солнечной радиации при определенной скорости ветра стабильность атмосферы уменьшается. Это и понятно, так как приход на Землю большого количества энергии вызывает различные возмущения в атмосфере и, в конечном итоге,

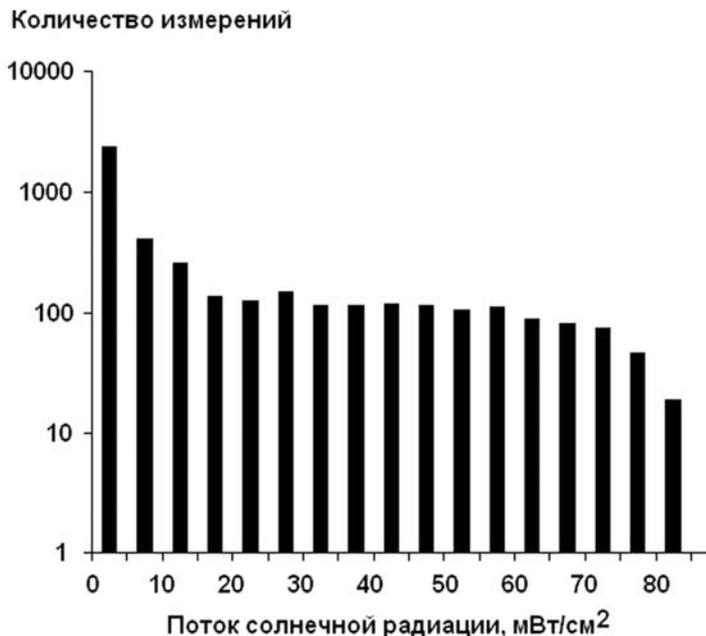


Рис. 5. Спектральное распределение потока солнечной радиации

ее нестабильность. Исходя из сказанного, при выполнении расчетов необходимо знать среднегодовую спектральную плотность потока солнечной радиации.

Измеренные нами среднегодовые значения потока солнечной радиации приведены на рис. 5. Результаты представлены в виде гистограммы в диапазоне от 0 до 90 мВт/см<sup>2</sup> с интервалом 5 мВт/см<sup>2</sup>. По оси ординат показано число зарегистрированных значений для заданного интервала плотности потока. Отметим, что шкала по оси ординат логарифмическая. Из приведенных на рис. 5 данных следует, что среднегодовая спектральная плотность потока максимальна вблизи нижних значений, поскольку примерно половина значений приходится на темное время суток. Также мала спектральная плотность в области максимальных значений – этому мешает наличие облаков.

### **Выводы**

В работе на основе десятков тысяч различных метеопараметров, собранных автоматизированной метеостанцией системы «Гамма-1» [5], рассчитаны вероятности семи основных категорий устойчивости атмосферы по Пасквиллу, которые позволяют проводить расчеты значений среднегодовых концентраций твердых частиц в атмосферном воздухе.

Приведены измеренные данные по среднегодовым значениям распределения скоростей ветра по величине и спектральные распределения потоков солнечной радиации, рассчитаны среднегодовые значения скорости ветра для всех категорий стабильности атмосферы.

Полученные результаты в совокупности с ранее разработанной программой [8] дают возможность вычислять среднегодовые концентрации твердых частиц в атмосферном воздухе разного аэродинамического диаметра, выброшенных из разных источников, что соответствует рекомендациям ВОЗ [1].

1. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02. Global update 2005. Summary of risk assessment. World Health Organization, 2006.
2. Гусев Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере / Н. Г. Гусев, В. А. Беляев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 224 с.

3. Pasquill, F. The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorology Magazine*, 1961, vol. 9, p. 33.
4. Допустимые выбросы радиоактивных и химических веществ в приземный слой атмосферы / Н. Е. Артемова, А.А. Бондарев, В.И. Карпов и др. : под общ. ред. Е.Н. Тевяровского и И.А. Терновского. – М.: Атомиздат, 1980. – 240 с.
5. Барбашев С. В. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки в окружающей среде / С. В. Барбашев, В. И. Витько, Г. Д. Коваленко. – Одесса: Астропринт, 2015. – 132 с.
6. Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine releases. Exposures of critical groups. Safety series No. 57, IAEA, 1982. –110 p.
7. Reid Rosnick. CAP88-PC Version 4.0. June 13, 2016. User Guide. Trinity Engineering Associates, Inc. 8832 Falmouth Dr. Cincinnati, OH 45231-5011. –276 p.
8. Витько В. И. Рассеяние летучей золы при выбросах ТЭС, работающих на угле / В.И. Витько, Г.Д. Коваленко // Екологічна безпека : проблеми і шляхи вирішення : XII Міжнар. науково-практ. конф., м. Харків, 5-9 вересня 2016 р. : зб. наук. ст. – Харків: Райдер, 2016. – С. 67-75.

#### **Вітько В. І., Коваленко Г. Д. КАТЕГОРІЇ СТІЙКОСТІ АТМОСФЕРИ В ХАРКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ**

*За даними вимірювань розраховані ймовірності семи основних категорій стійкості атмосфери за Пасквіллом у м. Харкові. Отримано числові значення метеопараметрів, які необхідні для проведення розрахунків середньорічних концентрацій твердих частинок різного аеродинамічного діаметра, що відповідає рекомендаціям ВООЗ.*

**Ключові слова:** метеопараметри, атмосферне повітря, стійкість атмосфери.

#### **Vitko V. I., Kovalenko G. D. CATEGORIES STABLE ATMOSPHERE IN THE KHARKIV REGION**

*The measured data are calculated the probability of the seven major categories of atmospheric stability Paskvill in Kharkiv. The numerical values of meteorological parameters required for the calculation of average annual concentration of solid particles of different aerodynamic diameter, which corresponds to WHO recommendations.*

**Key words:** meteorological parameters, air, atmospheric stability.