

Блащинская Оксана Николаевна,
старший преподаватель, кафедра «Автоматизации технологических процессов»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: lin_oks@mail.ru

Патрушев Константин Юрьевич,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет

РАСЧЁТ МОДЕЛИ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ВЫБРОСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА

Blaschinskaja O.N., Patrushev K.IU.

CALCULATION OF THE POINT SOURCE EMISSION MODEL AND DETERMINATION OF THE CONCENTRATION OF THE POLLUTANT

Аннотация. Рассмотрен подход к моделированию концентрации загрязняющего вещества в системе «источник выброса – концентрация загрязняющего вещества» на различных расстояниях от источника выброса.

Ключевые слова: барьер растительности, моделирование, концентрация загрязняющего вещества, диоксид серы, адсорбция.

Abstract. An approach to modeling the concentration of a pollutant in the system "source of emission – concentration of a pollutant" at various distances from the source of emission is considered.

Keywords: vegetation barriers, simulation, the pollutant concentration, sulfur dioxide, adsorption.

Моделирование – это основа метода исследования, в котором объект исследования заменяется его моделью. С помощью такого подхода делается попытка изучить сам объект. Моделирование является универсальным методом, характер которого мало зависит от области и объекта исследования, поэтому метод моделирования применим в разных отраслях научного познания.

Математическое моделирование часто делится на четыре этапа. Первый этап предполагает выяснение основных определенных закономерностей исследуемого реального явления; второй - упорядочение полученных закономерностей в формализованную схему, которая представляется с помощью языка выбранного математического аппарата. Третий этап состоит из анализа полученной системы уравнений приемами математических теорий и с использованием соответствующих программ. На четвертом этапе имеет место интерпретация полученных формальных результатов относительно реального объекта. Эта последовательность процедур дает представление об общей схеме моделирования.

В настоящее время сформировался «стандартный подход» к моделированию концентрации загрязняющего вещества (ЗВ) в системе «источник выброса – концентрация поллютанта на различных расстояниях от источника выброса» [1-3]. Суть подхода заключается в том, что между основными параметрами атмосферного переноса поллютантов, или «функцией переноса» и «функцией источника» существует тесная связь [8]. К числу параметров «связи» со сторо-

ны «функции переноса» относятся шероховатость дневной поверхности, характер распределения скорости ветра и классов стабильности атмосферы, а со стороны «функции источника» – давление насыщенных паров, температура воздуха и поверхности грунта, мощность выброса и др.

При разработке модели, учитывающей параметр адсорбции загрязнителя, исходили из уже сложившихся подходов [1, 8], используя гауссово решение для концентрационного поля переноса по ветру невесомой примеси диоксида серы от мгновенного точечного источника (МТИ), полученное из предположения нормального закона распределения концентрации загрязнителя по всему объему выброса [2, 4, 5, 8].

В момент времени $t = t_0$ SO_2 выбрасывается из МТИ в поток воздуха, движущийся со средней скоростью U вдоль оси Ox декартовой системы координат (xyz) (рисунок 1).

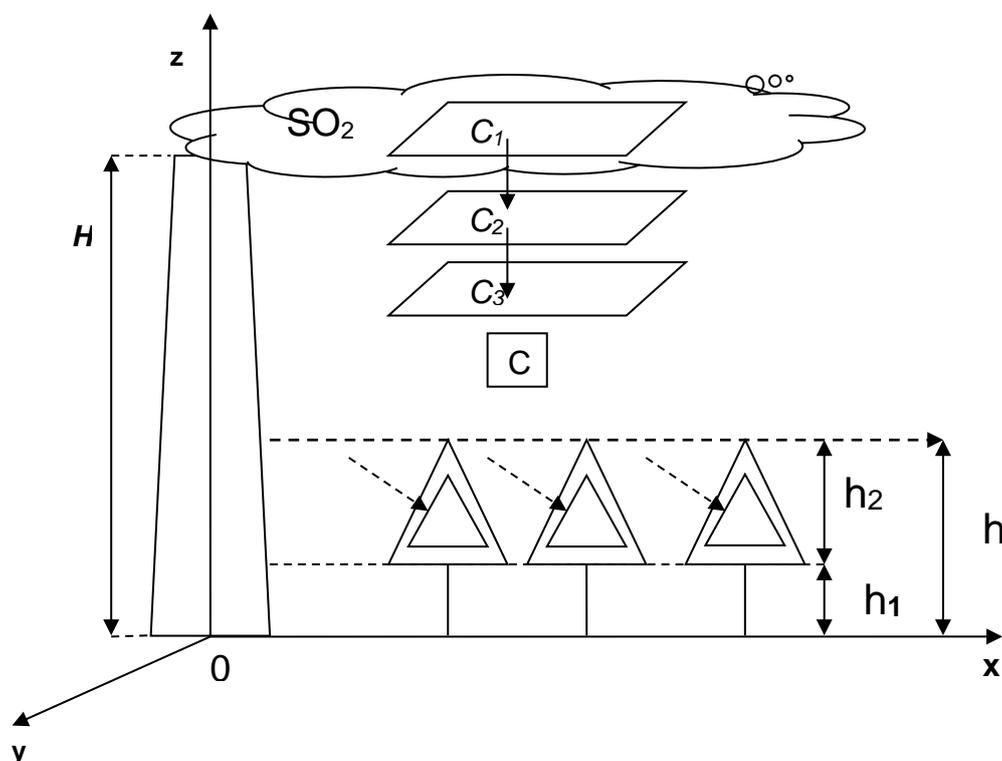


Рисунок 1 – Схема формирования «полей концентрации» загрязнителей выброса ЗВ в атмосферу от объемного мгновенного источника

Обозначения: C_i – концентрации загрязняющих веществ в поле концентрации на разной высоте; H – высота объемного мгновенного источника; h – высота пространства, занятого растительностью; h_1 – приземной слой тропосферы; $h_2 = h - h_1$ – слой адсорбции загрязнителей (кроны деревьев); сплошные стрелки показывают направление изменения концентрации ЗВ, пунктирные стрелки показывают «слой адсорбции» растительности.

Теоретически-вероятностное среднее значение концентрации C в точке пространства R^3 в момент времени t можно рассчитать с помощью уравнения:

$$C_{\text{МТИ}}(x, y, z, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{t_0}^t S(x_0, y_0, z_0, t_0) f(x, t) \phi(x, y) \psi(x, z) dx dy dz dt, \quad (1)$$

$$f(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{(x-Ut)^2}{2\sigma_x^2}\right), \quad \psi(x, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right),$$

где $S(x_0, y_0, z_0, t_0)$ – производительность источника (удельная масса выброса) в точке (x_0, y_0, z_0) в момент t_0 ; $\sigma_i = \sigma_i(t)$ – дисперсии по соответствующим осям (x, y, z) , являющиеся функциями времени ветрового переноса центра масс поллютанта на расстояние $x = Ut$; оси x – по направлению выброса, y, z – перпендикулярно выбросу по горизонтали и вертикали, z_0 – высота источника выброса; $x = y = 0$ – земная поверхность.

Объемный мгновенный источник (ОМИ) можно представить в виде суммы бесконечно большего числа МТИ. ОМИ был взят в виде параллелепипеда с размерами $2x_0, 2y_0, 2z_0$. При равномерном распределении масс поллютанта по начальному объему ОМИ производительность источника выброса определяли как:

$$S = M_0 / (8x_0 y_0 z_0). \quad (2)$$

Теоретически-вероятностное среднее значение концентрации $C_{\text{ОМИ}}$ в точке пространства R^3 в момент времени t можно рассчитать с помощью уравнения:

$$C_{\text{ОМИ}}(x, y, z, x_0, y_0, z_0, t) = \frac{M_0}{8} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{x+x_0-Ut}{\sigma_x \sqrt{2}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{x-x_0-Ut}{\sigma_x \sqrt{2}}\right) \right] \times \\ \times \left[\operatorname{erf}\left(\frac{y+y_0}{\sigma_y \sqrt{2}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{y-y_0}{\sigma_y \sqrt{2}}\right) \right] \left[\operatorname{erf}\left(\frac{z+z_0}{\sigma_z \sqrt{2}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{z-z_0}{\sigma_z \sqrt{2}}\right) \right], \quad (3)$$

где функция Эрфик от некоторого аргумента α равна

$$\operatorname{erf}(\alpha) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\alpha} \exp(-\eta^2) d\eta = \Phi(\alpha\sqrt{2}), \text{ а интеграл вероятностей}$$

$$\Phi(\varphi) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\varphi} \exp\left(-\frac{\zeta^2}{2}\right) d\zeta \text{ является табулированной функцией.}$$

Решения уравнения (1) для мгновенного точечного источника выброса, стационарного непрерывного с малой турбулентной диффузией и стационарного непрерывного с учетом отражения от поверхности земли были взяты по [1, с.236]. Для мгновенного источника предварительно определяется σ_i ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$), а для стационарных источников – σ_2, σ_3 , которые представляют собой горизон-

тальное и вертикальное расширение струи, которые перпендикулярны направлению движения струи выброса. Их можно определить графически – это значения σ_2, σ_3 для периодов времени 10 мин вблизи земной поверхности (высота ≤ 10 м) [1, с.237]. Параметры σ_y, σ_z задавались в зависимости от расстояния от источника в направлении движения ветра и устойчивости атмосферы, то есть турбулентности, которая определяет поле ветра, переносящего и рассеивающего примесь. Для их определения использованы следующие регрессионные зависимости, полученные при статистической обработке данных для случая инсоляция в дневное время, атмосфера сильно устойчива:

$$100 \leq x, y \leq 10^5 : \sigma_x = \sigma_y = 139,985 + 0,1482 y, \quad (4)$$

$$100 \leq z \leq 10^5 : \sigma_z = 159,685 - 1,0456 z + 0,0018 z^2. \quad (5)$$

Согласно данным литературы [7], скорость ветра на высоте z находили по формуле:

$$U = U_0 (z / z_0)^a, \quad (6)$$

где $U_0 = 1$ м/с – скорость ветра на высоте источника выброса; a – показатель степени, зависящий от атмосферных условий и шероховатости поверхности (0,16 – открытое пространство, 0,28 – наличие пригородной зоны, 0,4 – условия города, т.е. в условиях города турбулентность выше, чем на открытой местности).

Для того чтобы согласно схеме на рисунке 1 учесть барьерную функцию растительности, по результатам проделанных опытов по адсорбции поллютанта был определен коэффициент (K_y), характеризующий соотношение количества поллютанта в воздухе и его массы, адсорбированной на поверхности побегов древесных растений. Зависимость K_y от величины теоретической концентрации диоксида серы C_T была описана следующим уравнением регрессии:

$$K_y = 0,0998 + 0,0033 \cdot C_T - 7,3485 \cdot 10^{-7} \cdot C_T^2. \quad (7)$$

При статистической обработке экспериментальных данных были определены критерии статистической значимости этого уравнения (6): коэффициент детерминации (99,42%), критерий Дарбина-Уотсона (1,13), стандартная ошибка (0,073), средняя абсолютная ошибка (0,102). Алгоритм расчета K_y использовали при моделировании рассеивания поллютанта с учетом его адсорбции поверхностью растительности.

На рисунках 2, 3 представлен алгоритм расчета $C_{ОМИ}$. Вычисления $C_{ОМИ}$ по алгоритму, приведенному на рисунке 2, 3, по оси z , ведутся, начиная с высоты источника выброса до высоты полога крон древесного растительного покрова. Как только выполняется условие $z < h_2$, значение концентрации SO_2 пересчитывается [7]:

$$c := c - K_y \cdot S_a, \quad (8)$$

где S_a – адсорбирующая поверхность барьеров.

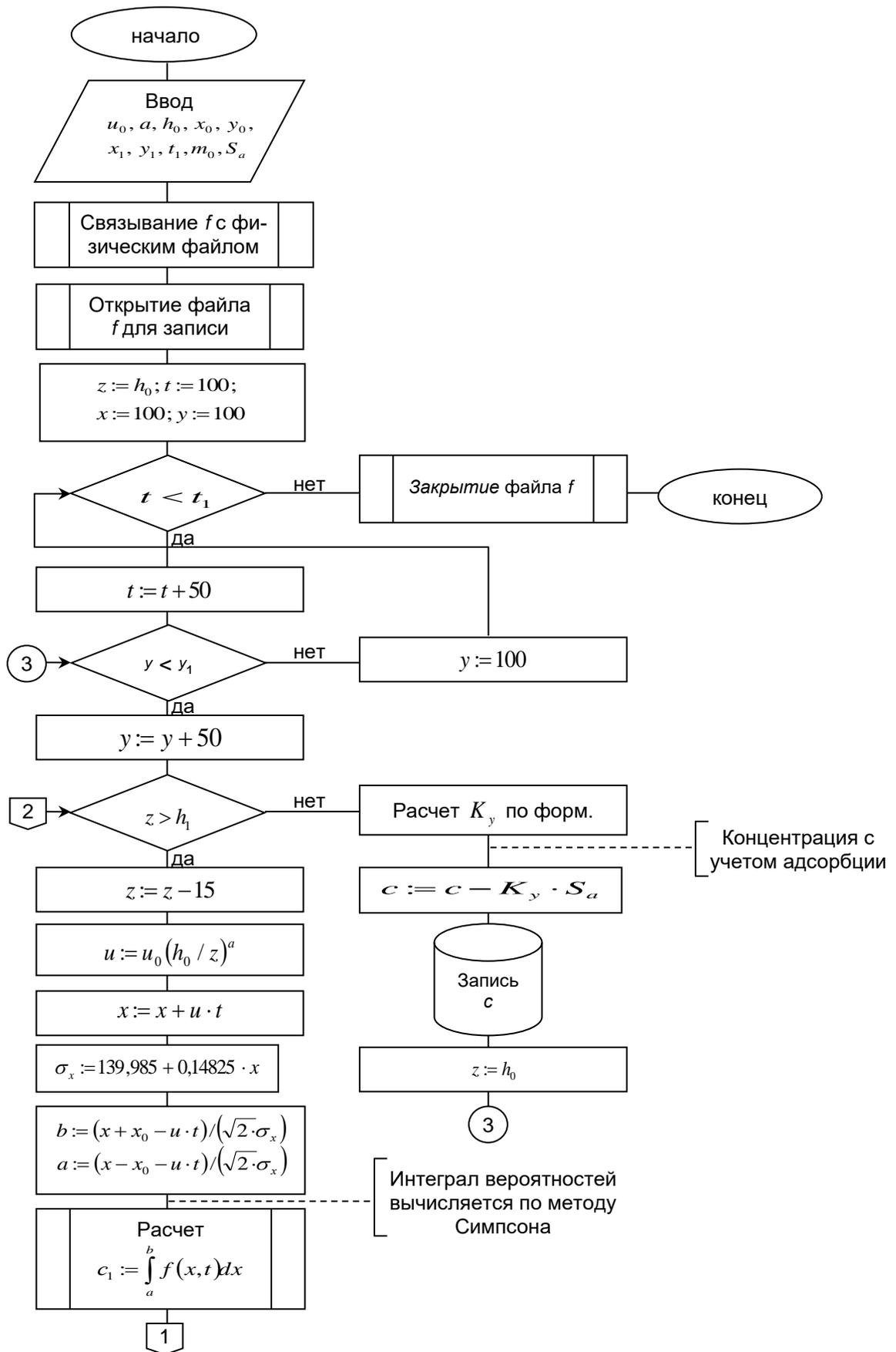


Рисунок 2 – Алгоритм расчета концентрационного поля

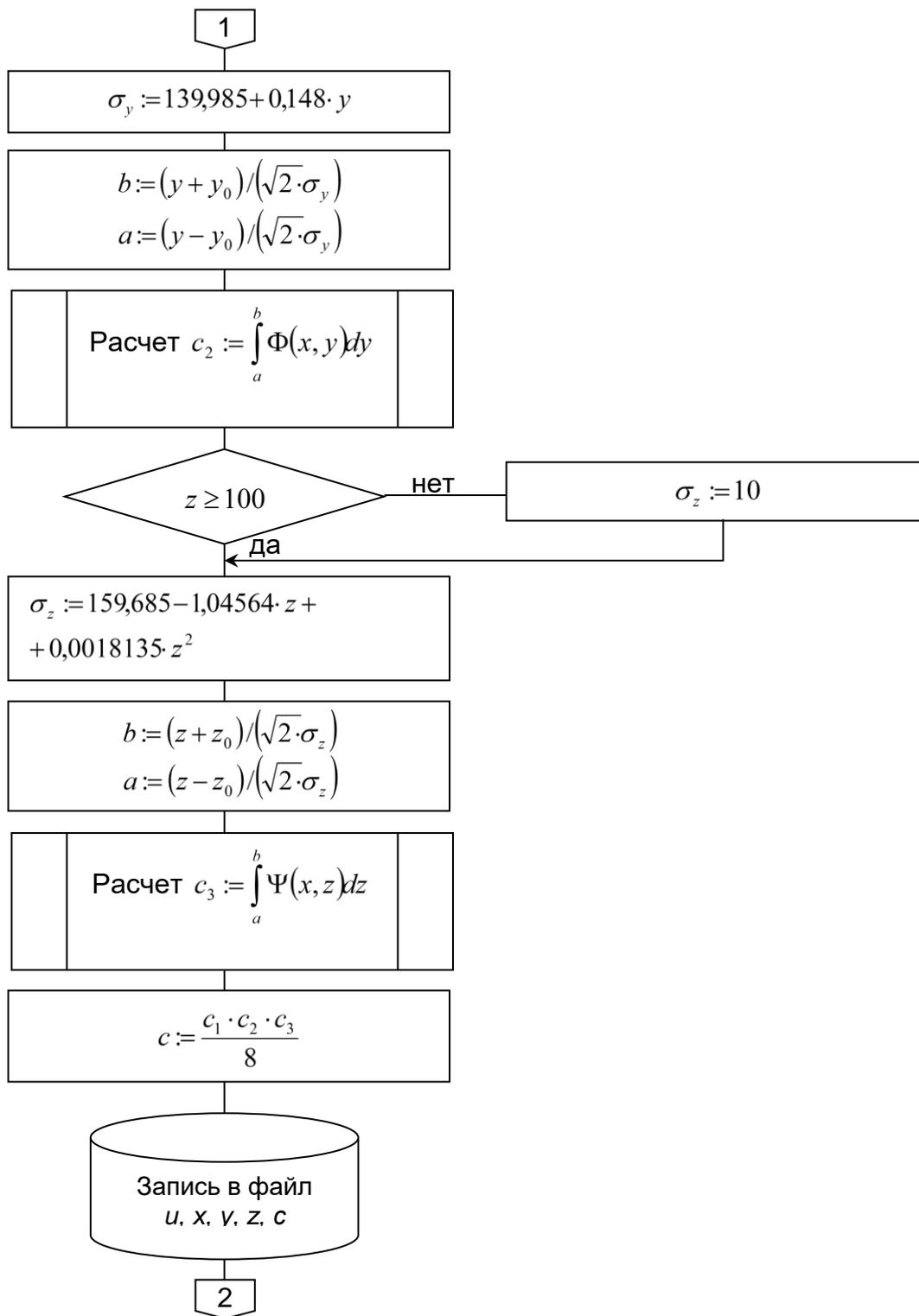


Рисунок 3 – Продолжение алгоритма расчета концентрационного поля

Таким образом, на основе экспериментальных данных по адсорбции диоксида серы побегами древесных растений был разработан алгоритм для модели расчета концентрационных изменений ЗВ с участием растительного покрова территории. Однако, определить концентрации загрязнителя до и после растительного барьера по схеме на рисунке 1 практически не удалось.

Основная причина неудачи состояла в том, что моделирование по схеме, представленной на рисунке 1, не позволяет определить градиент концентрации ЗВ в вертикальной плоскости. Модели дают возможность рассчитывать конечную концентрацию загрязняющих веществ в заданных точках пространства выброса на высоте 2 м фактически только в горизонтальной плоскости пространства. При этом по отношению к слою растительности, с которой взаимодействуют ЗВ, попавшие в окружающую среду от плоского источника выброса, при моделировании средней концентрации, как правило, исходят из того, что «ветви, листья, хвоя сосны» усредняют распределение концентрации в поперечном сечении [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Якубович Д.М., Белов С.В., Ильницкая А.В., Козьяков А.Ф., Морозова Л.Л., Павлихин Г.П., Переездчиков И.В., Сивков В.П.** Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов, под общ. ред. Белова С.В. М.: Высш. шк. 1999. 448 с.
2. **Блащинская О.Н., Горбунова О.В., Асламова В.С., Забуга Г.А., Сторожева Л.Н.** Адсорбция диоксида серы поверхностью пространственных барьеров. Сб. науч. труд. IV Всероссийская конф. «Винеровские чтения». Т.2. Иркутск: Изд-во ИргТУ. 2011. С. 26-34.
3. **Добросельский К.Г.** Модель оценки рассеяния газообразных вредных веществ от вертикальных сосредоточенных источников // Безопасность жизнедеятельности. 2012. №1. С. 25-29.
4. **Блащинская О.Н., Горбунова О.В., Асламова В.С., Забуга Г.А., Сторожева Л.Н.** Расчёт концентрации диоксида серы с помощью барометрической модели с учётом влияния барьера растительности // Вестник КрасГАУ. 2012. №7. С. 70-74.
5. **Блащинская О.Н., Горбунова О.В., Забуга Г.А., Асламова В.С., Сторожева Л.Н.** Влияние пространственного барьера растительности на концентрацию поллютантов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. №4. С.73-82.
6. **Васильев А.А., Гавриков А.И., Майоров А.С., Лукьянченко А.А., Федоров А.В., Соколов А.В.** Применение газовых пожарных извещателей для раннего обнаружения лесных пожаров // ПБ и ЧС. 2011. № 1. С. 57-62.
7. **Голованов А.И., Зимин Ф.М., Козлов Д.В.** Природообустройство: учебник / М.: Издательство «Колос», 2008, 552 с.
8. **Замышляев Б.В.** Влияние начальных размеров выброса (истечения) невесомой примеси на оценку концентрационных полей, возникающих при распространении облака гауссова типа // Проблемы безопасности и ЧС. 2004. №4. С. 35-42.