

УДК 004.942:614.841

pavel\_zykov@inbox.ru

**ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД УЧЕТА НАЛИЧИЯ ВЕТРА  
ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ПОЖАРА ПРОЛИВА  
ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ****PROBABILISTIC AND STATISTICAL METHOD OF ACCOUNTING  
THE AVAILABILITY OF THE WIND WHEN EVALUATING THE HEAT FLOW  
OF A FIRE OF FLAMMABLE FLUID**

*Зыков П. И., кандидат технических наук,  
Субачев С. В., кандидат технических наук, доцент,  
Субачева А. А., кандидат педагогических наук, доцент,  
Пешков А. В., кандидат технических наук,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Zykov P. I., Subachev S. V., Subacheva A. A., Peshkov A. V.,  
Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

При выполнении расчетов пожарного риска на производственных объектах с горючими жидкостями и анализе теплового потока пожара пролива необходимо определять, находится ли рассматриваемая точка территории с подветренной стороны от пламени пожара. В статье представлен усовершенствованный алгоритм, позволяющий быстрее и точнее определять вероятность попадания точки в подветренный сектор. Алгоритм реализован в компьютерной программе PromRisk, предназначенной для расчета пожарных рисков на производственных объектах.

*Ключевые слова:* моделирование пожаров, расчет пожарного риска, пожарная опасность производственных объектов.

When performing fire risk calculations at industrial facilities with flammable liquids and analyzing the heat flow of a spill fire, it is necessary to determine whether the considered point of territory is located on the leeward side of the fire flame. The paper presents an improved algorithm that allows to quickly and accurately determine the probability of a point entering the leeward sector. The algorithm is implemented in the PromRisk computer program, designed to calculate fire risks at industrial facilities.

*Keywords:* modeling of fires, calculation of fire risk, fire hazard of industrial facilities.

Согласно методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1, 2], для определения плотности падающего теплового потока в определенной точке территории объекта или селитебной зоне вблизи объекта при пожаре пролива горючей жидкости необходимо учитывать, располагается ли данная точка в 90° секторе в направлении наклона пламени. Для этих точек величина теплового потока определяется с учетом силы ветра, которая влия-

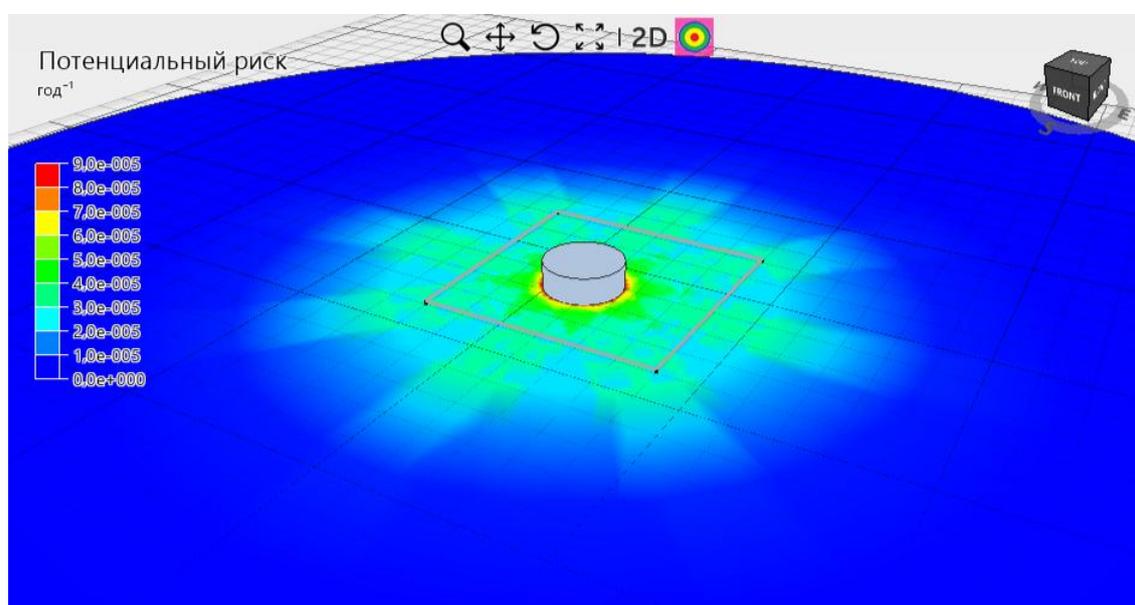
ет на угол наклона пламени в сторону облучаемого объекта [3, (6.14)], коэффициент облученности и собственно результирующую величину теплового потока. Для площадок (точек), расположенных вне указанного сектора, а также в случаях отсутствия ветра факторы облученности площадок рассчитываются, принимая угол наклона пламени равном нулю.

В работе [4] представлен алгоритм, позволяющий в таких расчетах автоматически определять, находится ли рассмат-

риваемая точка с подветренной стороны от пламени пожара, при произвольной форме площади пролива. Он апробирован и успешно применяется в программе PromRisk, в том числе в случаях применения противопожарных стен (экранов) [5].

Однако методика учета наличия ветра требует дальнейшего совершенствования. В настоящее время в большинстве компьютерных программ рассматривается 8 направлений ветра (северный, северо-восточный, восточный и т. д.). При этом, если пожар рассматривается не как точка,

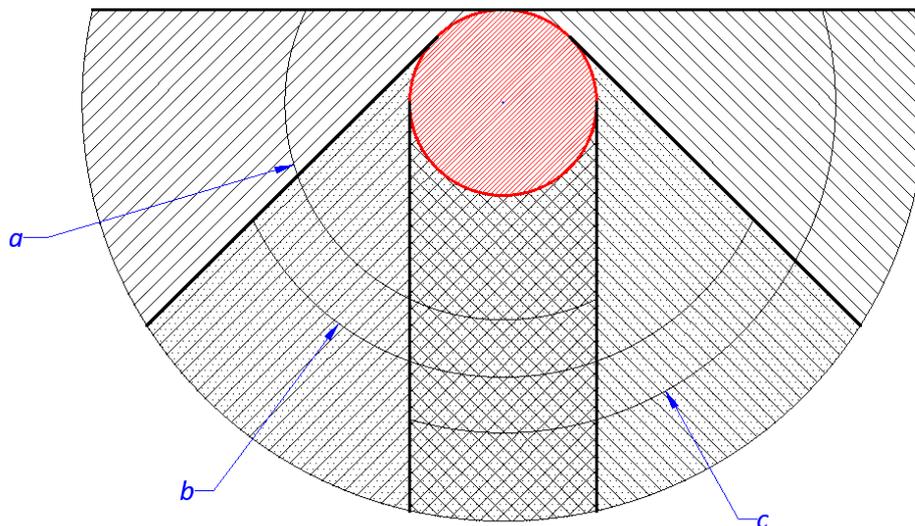
а в виде фигуры некоторой площади, то в случаях значительной силы ветра (угла наклона пламени) и небольшой площади пожара, даже при равновероятных направлениях ветра, результирующее поле потенциального риска будет содержать области с повышенными значениями потенциального риска. Количество таких ошибочно полученных областей повышенного риска в виде полос, отходящих от очага пожара, равно количеству рассматриваемых направлений ветра (рис. 1).



*Рисунок 1. Области искусственно повышенного потенциального риска, совпадающие с рассматриваемыми направлениями ветра*

Такой эффект возникает из-за того, что ветер рассматривается с единичных конкретных направлений: у северного ветра направление строго  $0^\circ$  (по азимуту), северо-восточного – строго  $45^\circ$  и т. д. При этом области, расположенные относительно очага пожара под углом по азимуту кратном  $45^\circ$ , включаются в расчет триж-

ды. Например, область территории, расположенная южнее очага пожара (рис. 2), учитывается в расчете в составе  $90^\circ$  сектора при наличии северо-восточного ветра (рис. 2, *a*), а также северного (рис. 2, *b*) и северо-западного (рис. 2, *c*).

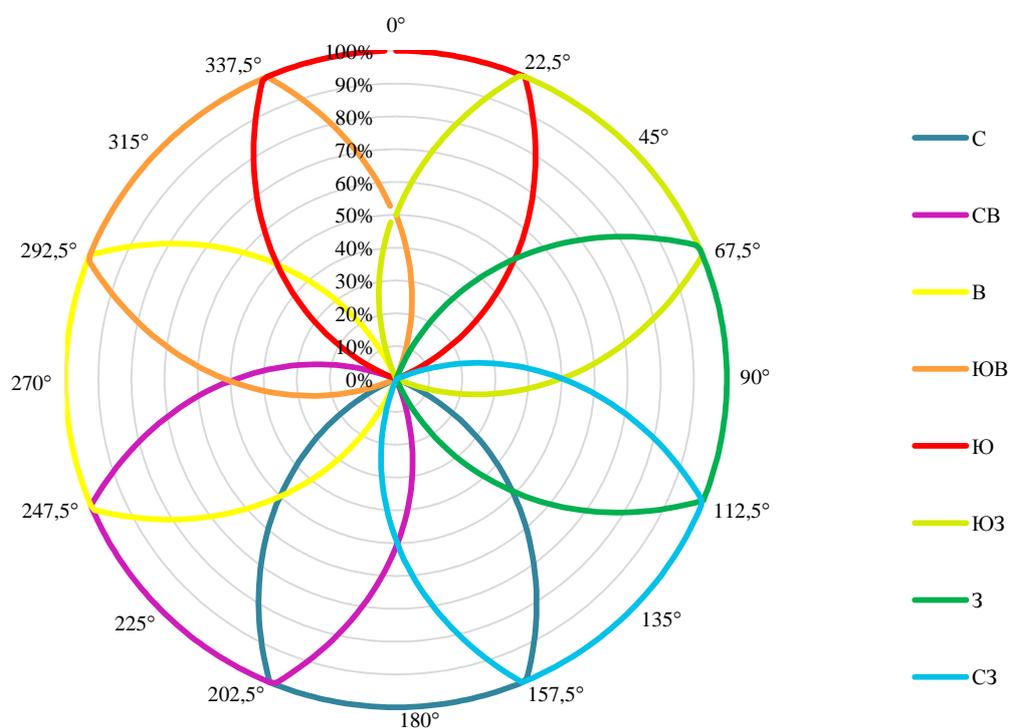


*Рисунок 2. Формирование области искусственно повышенного потенциального риска южнее очага пожара: а –  $90^\circ$  сектор воздействия северо-восточного ветра; б – сектор воздействия северного ветра; с – сектор воздействия северо-западного ветра*

Таких ошибок можно избежать, применяя вероятностно-статистический подход, рассматривая характерный ветер как все случаи ветра – на всем  $45^\circ$  интервале. Например, восточный ветер – это не только ветер строго с восточного направления (строго  $90^\circ$  по азимуту), а под восточным ветром нужно понимать все возможные ветра с направлений от  $67,5^\circ$  до  $112,5^\circ$  по азимуту; под юго-восточным ветром нужно понимать все возможные ветра с направлений от  $112,5^\circ$  до  $157,5^\circ$  по

азимуту и т. д.

Тогда для каждой точки территории объекта можно определить, в какой доле случаев характерного ветра она попадает в  $90^\circ$  подветренный сектор. Например, точка территории, расположенная восточнее очага пожара ( $90^\circ$  по азимуту, рис. 3), попадает в  $90^\circ$  сектор воздействия ветра во всех (100 %) случаях западного ветра, а также в 50 % случаев юго-западного ветра и в 50 % случаев северо-восточного ветра.



*Рисунок 3. Доли случаев попадания точек территории под влияние ветра разных направлений*

Благодаря тому, что по графику (рис. 3) доли случаев попадания точки территории под влияние ветра можно определить за одно действие (рис. 4), а не перебирать все 8 вариантов направлений и

проверять условие попадания под ветер в каждом из них, значительно сокращается количество необходимых вычислений и выполнение расчета занимает меньше времени.

```

public static Dictionary<EWindDirection, double> PointByWindMatching(Polygon2D polygon, Point2D testPoint)
{
    GetPolygonPointsAnglesInterval(polygon, testPoint, out var anglesIntervalBegin, out var anglesIntervalEnd);
    anglesIntervalBegin -= Math.PI / 4;
    anglesIntervalEnd += Math.PI / 4;
    ShiftInterval(ref anglesIntervalBegin, ref anglesIntervalEnd, Utility.TWO_PI);

    var res = new Dictionary<EWindDirection, double>(8);
    foreach (EWindDirection wd in Enum.GetValues(typeof(EWindDirection)))
        res.Add(wd, 0);

    foreach (EWindDirection wd in Enum.GetValues(typeof(EWindDirection)))
    {
        wd.GetComesAnglesInterval(out var windBeginAngle, out var windEndAngle);
        var n = 0;
        while (true)
        {
            if (res[wd] > 1) { res[wd] = 1; break; }

            var NplusWindBeginAngle = n * Utility.TWO_PI + windBeginAngle;
            var NplusWindEndAngle = n * Utility.TWO_PI + windEndAngle;
            if (NplusWindBeginAngle >= anglesIntervalEnd) break;

            var intersectBegin = Math.Max(anglesIntervalBegin, NplusWindBeginAngle);
            var intersectEnd = Math.Min(anglesIntervalEnd, NplusWindEndAngle);
            if (intersectEnd > intersectBegin)
            {
                var v = (intersectEnd - intersectBegin) / (Math.PI / 4);
                res[wd] += v;
            }

            n++;
        }
    }

    return res;
}

```

Рисунок 4. Листинг функции определения долей случаев попадания точки территории под влияние ветра разных направлений на языке C#

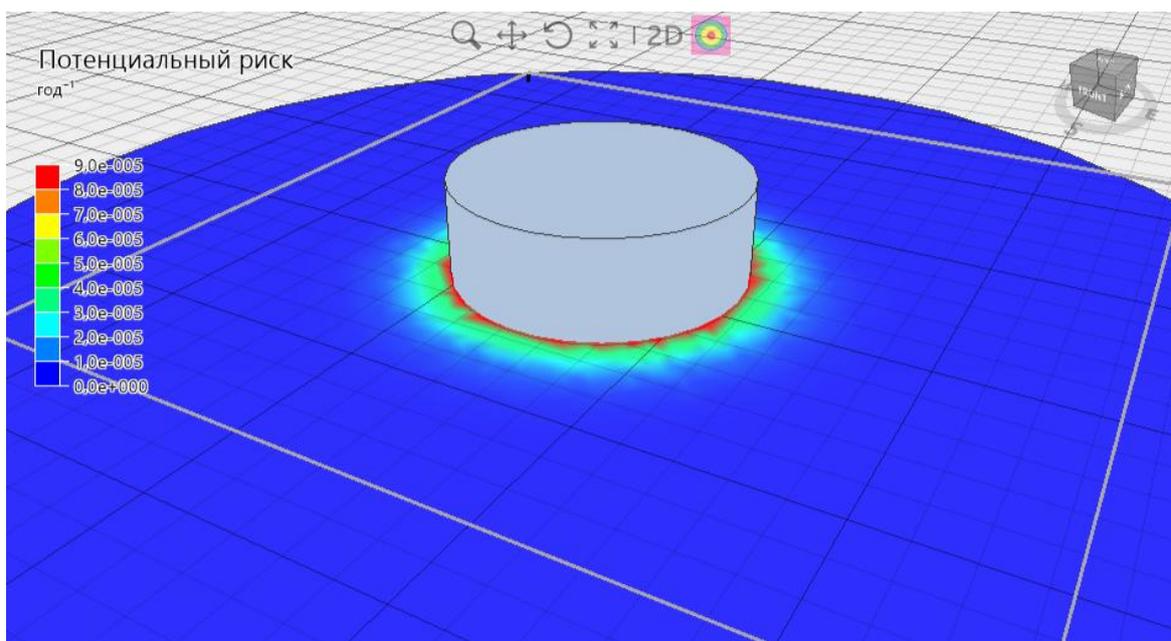


Рисунок 5. Пример поля потенциального риска, полученного по предлагаемой методике, при равновероятных направлениях ветра

Такой метод позволяет учесть статистические данные о повторяемости ветров в конкретной климатической зоне и в то же время избежать появления областей территории с ошибочно завышенными значениями потенциального риска.

#### Литература

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. Приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404, с изм.).
2. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / Д. М. Гордиенко и др. М., 2012. 242 с.
3. Methods for the calculation of Physical Effects Due to releases of hazardous materials (liquids and gases) / Publicatierieks Gevaarlijke Stoffen 2. Nederland, Hague, 1996. 870 p.
4. Карькин И. Н. и др. Алгоритм автоматического определения влияния ветра при оценке теплового потока пожара пролива горючей жидкости // Техносферная безопасность. 2018. № 4 (21). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.
5. Карькин И. Н. и др. Моделирование защиты людей и оборудования от теплового потока пожара на территории производственных объектов // Техносферная безопасность. 2019. № 2 (23). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.

#### References

1. Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob"ektax (utv. Prikazom MChS Rossii ot 10.07.2009 № 404, s izm.).
2. Posobie po opredeleniyu raschetnykh velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennykh ob"ektov / D. M. Gordienko i dr. M., 2012. 242 p.
3. Methods for the calculation of Physical Effects Due to releases of hazardous materials (liquids and gases) / Publicatierieks Gevaarlijke Stoffen 2. Nederland, Hague, 1996. 870 p.
4. Kar'kin I. N. et al. Algoritm avtomaticheskogo opredeleniya vliyaniya vetra pri ocenke teplovogo potoka pozhara proliva goryuchej zhidkosti // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 4 (21). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.
5. Kar'kin I. N. et al. Modelirovanie zashchity lyudej i oborudovaniya ot teplovogo potoka pozhara na territorii proizvodstvennykh ob"ektov // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 4 (21). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.