

УДК 004.942:614.841

sergey-subachev@yandex.ru

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРАНИЦ АВАРИЙНОГО ПРОЛИВА ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ  
ДЛЯ РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ОБЪЕКТАХ****FORECASTING OF EMERGENCY BOUNDARIES OF THE STRAIT OF FLAMMABLE  
LIQUIDS FOR ESTIMATION OF FIRE RISK FOR INDUSTRIAL FACILITIES**

*Карькин И.Н., кандидат физико-математических наук,  
Контарь Н.А., Pyrosim.ru, г. Екатеринбург,  
Субачев С.В., кандидат технических наук, доцент,  
Субачева А.А., кандидат педагогических наук,  
Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург*

*Kar'kin I.N., Kontar N.A., Pyrosim.ru, Yekaterinburg,  
Subachev S.V., Subacheva A.A.,  
Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,*

В работе представлена компьютерная модель, предназначенная для прогнозирования площади и границ аварийных проливов горючих жидкостей, необходимых для определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах.

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

The paper presents a computer model designed to predict the area and boundaries of emergency spills of flammable liquids that are necessary to determine the calculated values of fire risk at the production facilities.

*Key words:* modeling of emergency spills, calculation of fire risk, fire hazard of production facilities.

Согласно методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1], величина потенциального пожарного риска  $P(a)$ , ( $\text{год}^{-1}$ ) в определенной точке ( $a$ ) как на территории объекта, так и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) \cdot Q_j,$$

где  $J$  – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

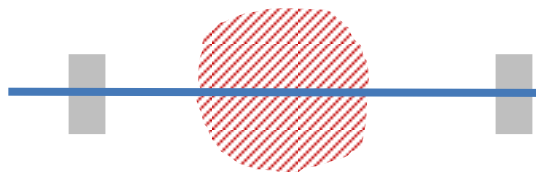
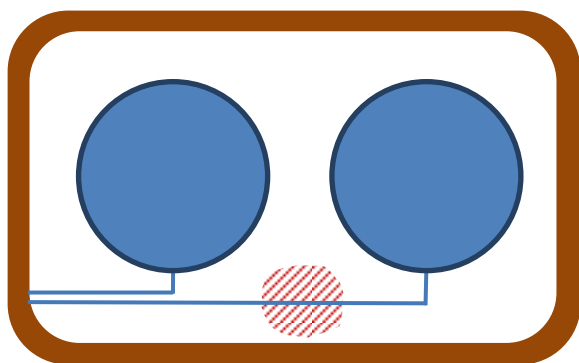
$Q_{dj}(a)$  – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории ( $a$ ) в результате реализации  $j$ -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному иницирующему аварии событию;

$Q_j$  – частота реализации в течение года  $j$ -го сценария развития пожароопасных

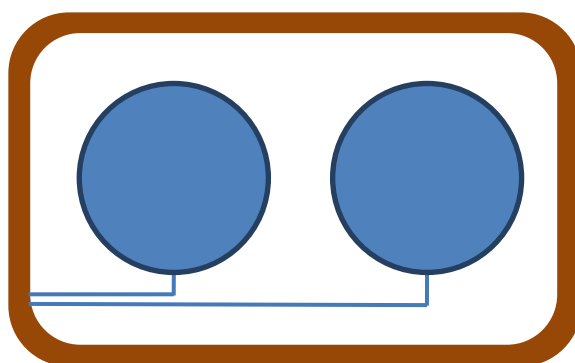
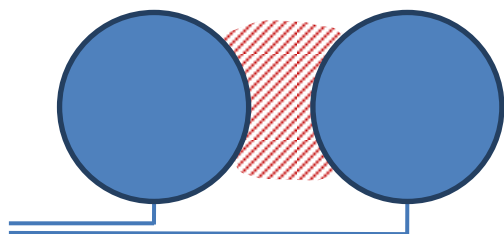
ситуаций,  $\text{год}^{-1}$ .

При вычислении условной вероятности гибели человека в результате воздействия на него опасных факторов пожара или взрыва интенсивность теплового излучения, а также избыточное давление взрыва определяются в зависимости от расстояния между геометрическим центром пролива и рассматриваемой точкой территории. Следовательно, для выполнения этого анализа необходимо иметь прогноз площади и формы площади аварийного разлива жидкости для определения его геометрического центра.

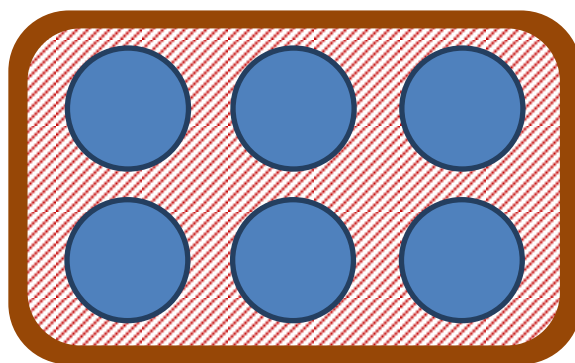
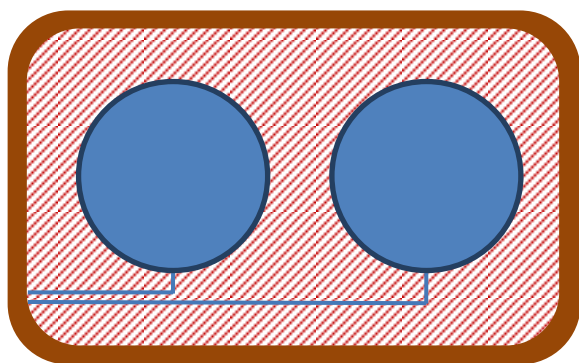
В зависимости от объема разливающейся жидкости и расположения оборудования при аварийной ситуации, связанной с истечением жидкости из оборудования, возможно образование проливов различной площади и формы (рисунок 1).



*а) пролив на свободной неограниченной поверхности или в пределах обвалования, когда площадь обвалования значительно больше площади пролива*



*б) пролив на неограниченной поверхности или в пределах обвалования, когда площадь пролива не ограничивается, но наличие оборудования или части обвалования обуславливает форму площади пролива*



*в) пролив в пределах обвалования, когда и площадь, и форма пролива обусловлена площадью обвалования за вычетом площади, занятой оборудованием*

*Рисунок 1. Образование различных форм площади проливов жидкости*

В настоящее время для упрощения расчетов методикой предусматривается в качестве характерного размера пролива использование «эффективного диаметра пожара», т.е. диаметра круга, по площади равного площади пролива. Однако при использовании круглой формы пролива

вместо неправильной формы остаются нерешенными две задачи: определение геометрического центра пролива (для расчета теплового потока и избыточного давления взрыва) и прогнозирование границ пролива (согласно разд. 2 прил. 6 [2] в пределах границ пролива условная вероятность гибели

человека при пожаре принимается равной единице).

Обобщая вышеуказанное, нами была сформулирована цель работы: разработка модели процесса аварийного разлива жидкости из технологических аппаратов на горизонтальной поверхности, учитывающей наличие препятствий и позволяющей получить площадь и форму пролива.

Необходимо также учесть, что

частным случаем аварийного пролива является квазимгновенное разрушение резервуара, сопровождающееся переливом части жидкости за пределы обвалования. В этом случае модель должна прогнозировать разлитие жидкости во все стороны от границ обвалования (рисунок 2). Эта задача решается при задании в качестве источника истечения не одной точки, а всего периметра обвалования.

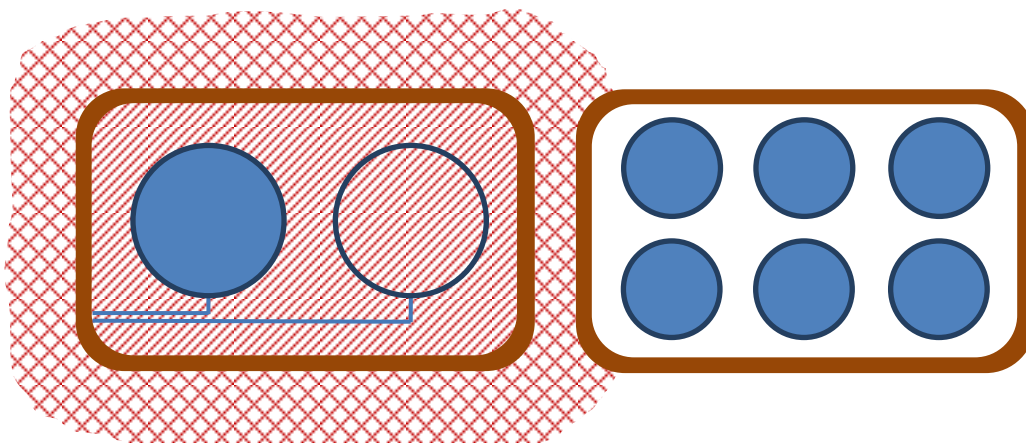


Рисунок 2. Образование пролива при разрушении резервуара с переливом части жидкости через обвалование

Кроме того, модель должна учитывать возможное наличие участков территории с разным покрытием и прогнозировать разлитие жидкости в соответствии с (ПЗ.27) [1].

В основу модели аварийного разлива жидкости была взята разработанная ранее имитационная модель распространения пожара в здании по площади [3, 4], так как в рамках настоящей работы эти процессы аналогичны: вместо негорючих строительных конструкций на пути распространения фронта пожара моделируется наличие обвалований и оборудования, вместо линейной скорости распространения пожара – коэффициент разлития жидкости в зависимости от типа покрытия.

Общий процесс моделирования разлива состоит в следующем.

Территория объекта представляется в виде множества элементов – пикселей малой

площади, каждый из которых имеет соответствующий типу покрытия коэффициент разлития. Разлитие жидкости в том или ином направлении от места истечения определяется вероятностью, пропорциональной этому коэффициенту, а также параметру  $FP$ , отражающему наличие и относительное расположение соседних пикселей с жидкостью.

Этот параметр определяется для каждого пикселя на каждом шаге моделирования по формуле:

$$FP = 2n_+ + n_x,$$

где  $n_+$  – количество пикселей с жидкостью, расположенных ортогонально по отношению к рассматриваемому;  $n_x$  – количество пикселей с жидкостью, расположенных по диагонали относительно рассматриваемого.

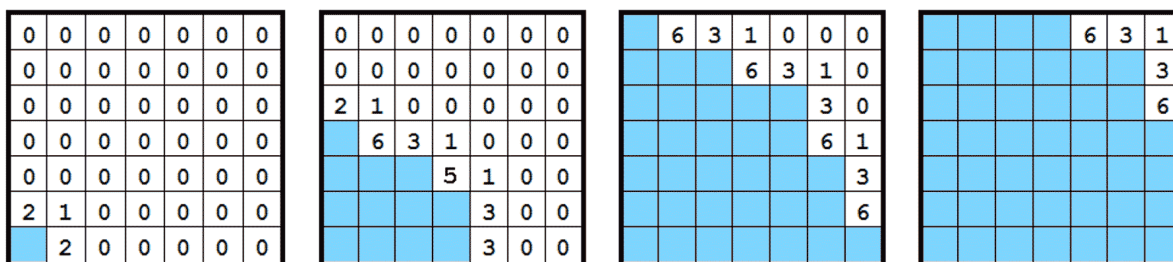


Рисунок 3. Пример распределения параметра  $FP$  в разные моменты времени моделирования на укрупненной сетке

Алгоритм оптимизирован для работы с большими площадями территории. На каждом шаге счета обрабатываются не все пиксели территории, а только входящие в один из следующих динамических списков:

*CheckList* – список пикселей, примыкающих к пикселям периметра пролива (заполнение которых жидкостью собственно имитирует розлив);

*NewList* – список пикселей, которые заполняются на текущем шаге счёта;

*LiquidList* – список пикселей, заполненных жидкостью (их совокупность представляет собой площадь пролива).

Это позволяет в десятки раз экономить вычислительные ресурсы и ускорять расчет.

Основной цикл реализации модели происходит по следующему алгоритму (рисунок 4):

обрабатывается список *CheckList*: вычисляется вероятность заполнения каждого пикселя, при выполнении условия заполнения он переносится в список *NewList*;

обрабатывается список *NewList*: пиксели списка обозначаются заполненными, у всех соседних пикселей увеличивается значение параметра  $FP$  и они заносятся в список *CheckList*;

все элементы из *NewList* переносятся в *LiquidList*;

цикл повторяется пока площадь пролива не достигнет величины, характерной для данного количества жидкости, или список *CheckList* не будет пуст (если площадь разлива ограничивается обвалованием).

Благодаря возможности присваивать каждому пикселю свои характеристики, становится возможным прогнозировать разлитие жидкости на территории объекта при любой аварийной ситуации, связанной с истечением жидкости из образовавшейся неплотности или разрушении резервуара или трубопровода, в том числе при наличии обвалования, соседнего оборудования и площадок с разными характеристиками покрытия.

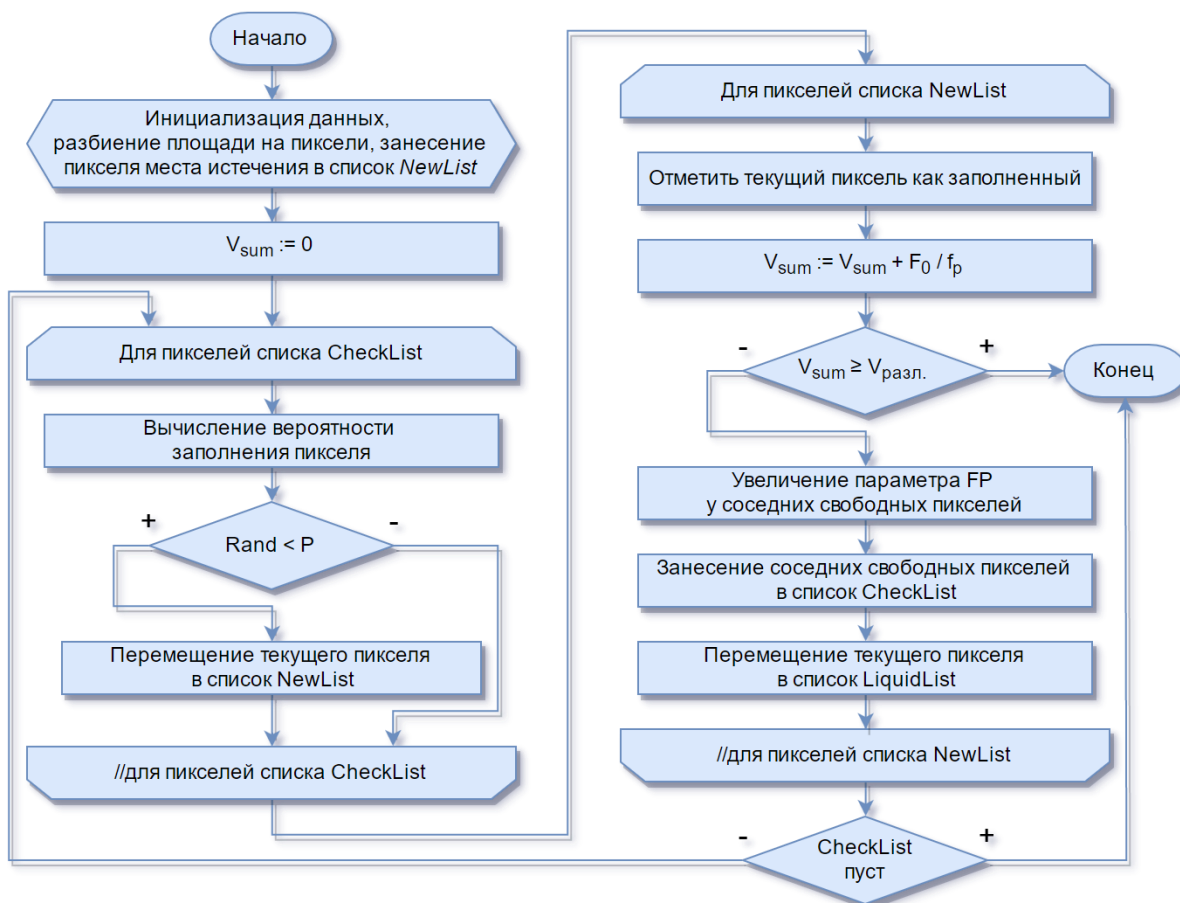


Рисунок 4. Алгоритм реализации модели разлива жидкости ( $V_{sum}$  – объем жидкости, соответствующий текущей площади разлива;  $V_{разл.}$  – расчетный объем вышедшей из аппарата жидкости;  $F_0$  – площадь пикселя;  $f_p$  – коэффициент разлития)

Описанная модель используется в разрабатываемом в настоящее время программном обеспечении для определения расчетных величин пожарного риска на

производственных объектах. Пример работы алгоритма в отладочной версии программы показан на рисунке 5.



Рисунок 5. Пример работы алгоритма

**Литература**

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 г. № 404, с изм.).
2. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / Д.М. Гордиенко и др. – М.: ВНИИПО, 2012. – 242 с.
3. Субачев С.В. Моделирование пожаров в зданиях: программная реализация и применение в системе подготовки специалистов пожарной безопасности. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 99 с. – ISBN 978-3-8443-5008-1.
4. Субачев С.В., Субачева А.А. Развитие интегральной модели пожаров в зданиях и перспективы её применения для решения задач пожарной безопасности // Техносферная безопасность. – 2013. – №1. – ISSN 2311-3286. – <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 g. № 404, s izm.).
2. Posobie po opredeleniyu raschetnykh velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennykh ob"ektov / D.M. Gordienko i dr. – M.: VNIPO, 2012. – 242 s.
3. Subachev S.V. Modelirovanie pozharov v zdaniyax: programmnaya realizaciya i primeneniye v sisteme podgotovki specialistov pozharnoj bezopasnosti. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 99 s. – ISBN 978-3-8443-5008-1.
4. Subachev S.V., Subacheva A.A. Razvitie integral'noj modeli pozharov v zdaniyax i perspektivy eyo primeneniya dlya resheniya zadach pozharnoj bezopasnosti // Texnosfernaya bezopasnost'. – 2013. – №1. – ISSN 2311-3286. – <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.