

УДК 614.878

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИМЕСИ ВБЛИЗИ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Котов Г.В.*, к.х.н., Сидорович Т.В.***, к.ф-м.н.

*Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

***Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси

e-mail: kotovgv@mail.ru

Представлены результаты расчета параметров воздушного потока, содержащего примесь, распространяющуюся с поверхности жидкого пролива. Установлены закономерности влияния источника выброса, скорости ветра, градиента температуры и характера препятствий, находящихся на пути движения потока, на распространение примеси в приземном слое воздуха.

The article presents the results of air flow parameters calculation, where air contains evaporated from liquid spill surface impurities. It defines the impact of the emission source, wind speed, temperature gradient and specifics of the obstructions on the flow path on impurities distribution in the surface layer.

(Поступила в редакцию 23 октября 2012 г.)

ВВЕДЕНИЕ

В случаях возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом (проливом) опасных химических веществ, наибольшую опасность представляет поток загрязняющей примеси, распространяющийся в приземном слое воздуха.

На процесс распространения загрязняющей примеси в приземном слое воздуха влияет целый ряд факторов, важнейшими из которых являются мощность действующего источника выброса; скорость ветра над источником; градиент температуры в приземном слое воздуха; характер поверхности, над которой происходит распространение примеси и наличие (или отсутствие) дополнительных препятствий.

Источник выброса (пролив), является возмущающим фактором, влияющим на гидродинамические характеристики воздушного потока в ближней к источнику области. Примесь в виде газа или паров, распространяющихся от источника выброса (с поверхности пролива), представляет собой затопленную неизотермическую струю в сдвиговом потоке, которая совершает «работу проталкивания» против сил внешней среды. Если скорость потока испаряющегося вещества соизмерима со скоростью ветра, то турбулентное перемешивание паров примеси с воздухом сопровождается возмущением, распространяющимся вдоль формирующегося потока на расстояние, значительно превышающее характерный размер источника примеси, и приводит к росту интенсивности турбулентных пульсаций в воздушном потоке вблизи пролива.

Градиент температуры, характерный для случаев проливов низкокипящих жидкостей, имеет значительную величину. Контакт низкотемпературной жидкости с поверхностью почвы в месте пролива и охлаждение поверхности распространяющимися парами приводят к искажению температурного поля в направлении распространения потока на значительном расстоянии.

Скорость ветра тоже оказывает существенное влияние как на процесс испарения жидкости с поверхности пролива, так и на дальнейшее распространение примеси с потоком воздуха. Принимая во внимание то, что проведение аварийно-спасательных работ (АСР) осуществляется, как правило, в условиях формирования вторичного облака, набегавший

воздушный поток является основным источником теплоты, необходимой для осуществления фазового перехода. Соответственно, с ростом скорости ветра будет происходить увеличение скорости испарения жидкости [1-3].

На процесс распространения примеси в приземном слое влияет характер поверхности почвы и наличие препятствий, естественных или искусственных, создаваемых в ходе проведения АСР.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Гауссовы модели расчета переноса нейтрально плавучей примеси в приземном слое базируются на принципах термодинамической устойчивости атмосферы, постоянстве направления и скорости ветра, а также независимом переносе примеси в горизонтальном и вертикальном направлениях [3]. Вблизи области пролива (примерно 100 характерных размеров от источника загрязняющей примеси) с учетом специфических особенностей, присущих различным веществам, сложного характера переноса воздушных масс в относительно небольших областях вблизи земной поверхности и при наличии препятствий, закономерности распространения и концентрационные поля загрязняющего вещества устанавливаются, как правило, с помощью вычислительного эксперимента.

Прежде всего, необходимо на качественном уровне рассмотреть развитие ситуации, связанной с возникновением на поверхности почвы пролива низкокипящей жидкости, такой как хлор. Влияние характеристик турбулентности воздушного потока и наличие препятствий на пути распространения тяжелой примеси, испаряющейся с поверхности пролива, может оказаться решающим при распределении значений концентрации в приземном слое. Кроме того, при определенных условиях и сама тяжелая примесь может оказывать влияние на интенсивность турбулентного перемешивания [4].

Постановка вычислительного эксперимента опирается на условия выполненного натурного эксперимента [5]. В ходе натурных испытаний производилось определение параметров фактической зоны заражения при свободном распространении хлора, испаряющегося с поверхности жидкого пролива площадью 1 м^2 , расположенного на уровне естественной шероховатости, а также при наличии водяной завесы.

Размер расчетной области в вертикальном направлении – 20 м, в горизонтальном – 140 м (рис.1). Реализована двумерная постановка, учитывающая горизонтальный размер (в данном случае равный 1 м по оси x) жидкого пролива, интенсивность поступления примеси, конвективный перенос воздушными массами и турбулентное перемешивание примеси с окружающим воздухом с учетом сил плавучести (модель смешения, реализованная в пакете Fluent [6]). При моделировании процесса распространения примеси в приземном слое атмосферы использована система уравнений, включающая в себя уравнение неразрывности, уравнения Рейнольдса для средней скорости турбулентного движения смеси, уравнение энергии для смеси, уравнения движения для объемной концентрации вторичных фаз и алгебраические соотношения для относительных скоростей вторичных фаз по отношению к скорости несущей (воздух) фазы. Для расчета пульсационных составляющих смеси использована $k-\varepsilon$ модель турбулентности.

Сорбционные свойства почвы, а также препятствий не учитывались. Величина коэффициента шероховатости поверхности принята соответствующей значению уровня шероховатости, характерного для местности, на которой проводились натурные испытания. Неподвижная перегородка считалась пористой (50 %), водяная завеса считалась сплошной (непористой). Пролив жидкого хлора температурой 238 К с продольным размером 1 м располагается на расстоянии 10 м от левой входной грани области моделирования по направлению воздушного потока. Водяная завеса, как и в натурном эксперименте,

располагается на расстоянии 17 м от левой границы расчетной области, скорость истечения струи обеспечивает поднятие воды на 2,5–3 м.

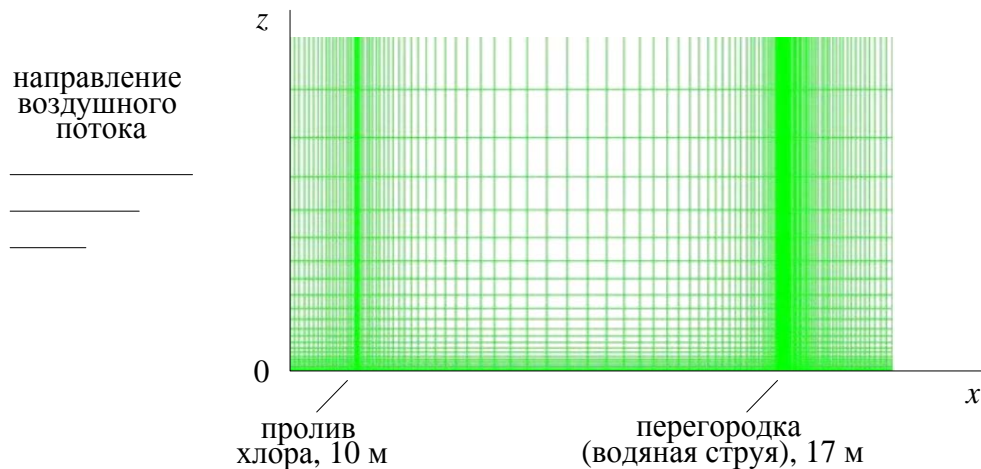


Рисунок 1 – Фрагмент расчетной области

При выборе граничных условий на верхней грани расчетной области задавались условия симметрии. На входной грани – переменная по высоте скорость ветра:

$$\bar{U}(z) = \bar{U}_{20} \left(\frac{z}{20} \right)^{0,14} \quad (1)$$

Скорость ветра на высоте 20 м в настоящем вычислительном эксперименте выбиралась такой, чтобы обеспечить значения 1,6–1,9 м/с на высоте 2 м. Значение скорости ветра на высоте 2 м связано с практикой измерения скорости ветра в реальных чрезвычайных ситуациях. Для оценки влияния градиента температуры были выполнены расчеты при других значениях скорости ветра на высоте 2 м, например, 4,3 м/с.

Приняты условия постоянного давления (атмосферного) и постоянной температуры набегающего воздуха по высоте, равной 293 и 313 К. Температура почвы до пролива и за водяной завесой – 273 или 283 К.

В качестве модельного объекта, являющегося источником поступления примеси в атмосферу, выбран пролив жидкого хлора со значением массового расхода хлора с поверхности 0,006, 0,6 и 1,07 кг/м²с. В условиях аварийного выброса для вычисления мощности источника хлора (кг/с), поступающего в атмосферный воздух при испарении с поверхности пролива в набегающий газовый поток, удобно пользоваться уравнением [2]:

$$q = 2,08 \cdot 10^{-9} (5,38 + 4,1 \cdot u) F p(T) \sqrt{M} \quad (2)$$

где u – измеренная скорость движения воздуха над поверхностью испарения, м/с;

F – площадь пролива, м²;

M – относительная молекулярная масса хлора;

$p(T)$ – парциальное давление паров хлора над поверхностью пролива при температуре T (°C), Па, которое рассчитывается как

$$\lg p = 9,950 - \frac{1530}{273 + T} \quad (3)$$

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1.1. Влияние пролива на скорость воздушного потока

Интенсивно поступающие в атмосферу пары вещества не только изменяют состав газовой среды и ее температуру, но и могут играть роль механического препятствия на пути потока, существенно искажающего его геометрию в окрестностях затопленной струи.

Прежде всего, следует оценить влияние поступления примеси в атмосферу на изменение продольной и вертикальной составляющих средней скорости турбулентного потока. На рис. 2 представлены данные, иллюстрирующие результаты расчета скорости воздушного потока на различной высоте от поверхности почвы при $q = 1,07$ кг/с (очень мощный источник).

Для случаев и вертикальной и продольной составляющих в отсутствие пролива наблюдается достаточно равномерное изменение скорости ветра по высоте, связанное с характерным влиянием поверхности почвы на распространение воздушного потока на высотах менее 2 м.

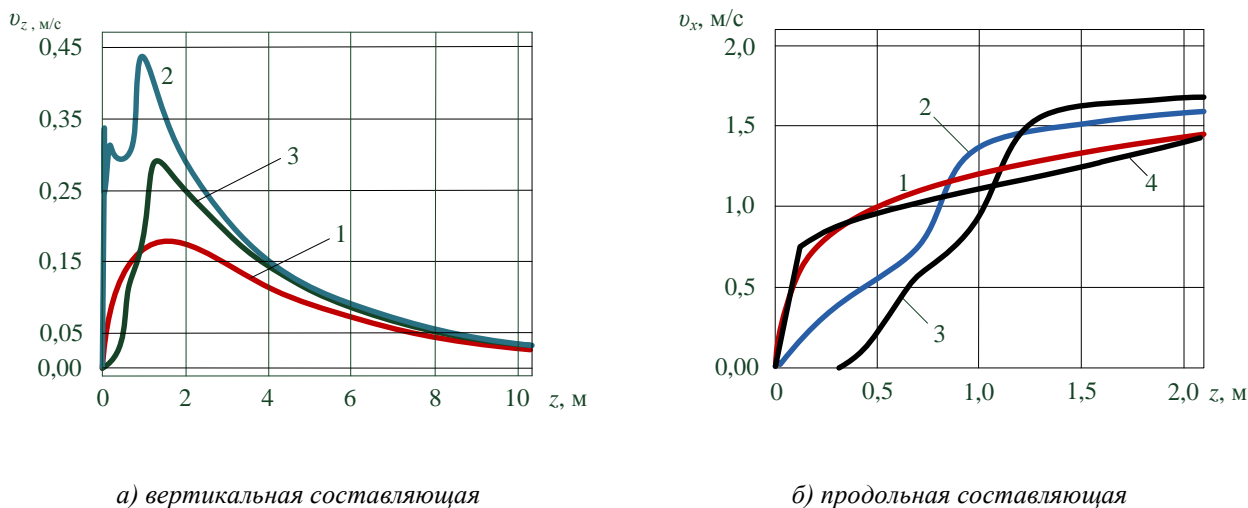


Рисунок 2 – Зависимость вертикальной и продольной составляющих средней скорости набегающего турбулентного потока от высоты над поверхностью:

1 – в отсутствие пролива; 2 – на расстоянии 11 м от правой границы пролива в направлении оси x ; 3 – 12 м; 4 – 60 м

Кривая 1 на рис. 2, а соответствует профилю вертикальной составляющей скорости воздушного потока v_z в естественных условиях. Характерное увеличение вертикальной составляющей наблюдается до значения высоты z порядка 1,5–2 м. Выше происходит постепенное снижение интенсивности роста вертикальной составляющей, и на высоте более 10 м скорость восходящих воздушных потоков стабилизируется.

Вблизи поверхности низкотемпературной жидкости наблюдается изменение значений составляющих скорости ветра (кривые 2–3). Прежде всего, отмечается резкое изменение вертикальной составляющей, связанное с получением воздушным потоком мощного вертикально направленного импульса. Этот импульс является следствием давления, создаваемого парами примеси, образующимися в кнудсеновском слое [1]. Выше кнудсеновского слоя формирование паровоздушного облака происходит за счет взаимодействия потока тяжелой примеси с набегающим турбулентным воздушным потоком.

Возмущающее действие сильнее сказывается вблизи пролива (кривая 2). При увеличении расстояния от границы пролива по оси x это действие ослабевает (кривая 3). Интенсивность влияния пролива зависит от его мощности и в данном случае просматривается на расстоянии до 40 м.

На рис. 2, б представлены данные, иллюстрирующие зависимость продольной составляющей скорости потока v_x от высоты над поверхностью почвы. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что при наличии пролива, на высоте, соизмеримой с его характерным размером (порядка 1 м), происходит резкое падение продольной составляющей (кривые 2 и 3 по сравнению с кривой 1). С ростом высоты профиль продольной скорости восстанавливает свою форму.

Данный характер зависимости объясняется тем, что пары примеси, поднимающиеся с поверхности пролива, создают помеху распространению воздушного потока, играя роль механического препятствия. Перед таким препятствием набегающий поток тормозится, что выражается в падении продольной составляющей скорости. Далее происходит огибание потоком препятствия, что сопровождается ростом скорости в верхней точке формирующейся траектории.

Это влияние распространяется на расстояние, значительно превышающее характерный размер пролива. В данном случае влияние пролива прослеживается до 60 м от его границы, о чем свидетельствуют близкие значения профиля скорости, соответствующие кривым 1 и 4.

Таким образом, источник выброса, находящийся на пути движения воздушного потока, оказывает на него комплексное влияние. Причины такого влияния – проявление свойств механического препятствия и вертикально направленный импульс потока примеси, поднимающегося с поверхности пролива.

1.2. Влияние пролива на характеристики турбулентности воздушного потока

Для оценки возмущающего действия пролива на набегающий воздушный поток рассмотрим изменение величины интенсивности турбулентности потока. На рис. 3 проиллюстрированы результаты расчета интенсивности турбулентных пульсаций I при свободном распространении воздуха и при наличии пролива с массовым расходом примеси $q = 1,07$ кг/с. Температура поверхности почвы 273 К, температура воздуха 283 К.

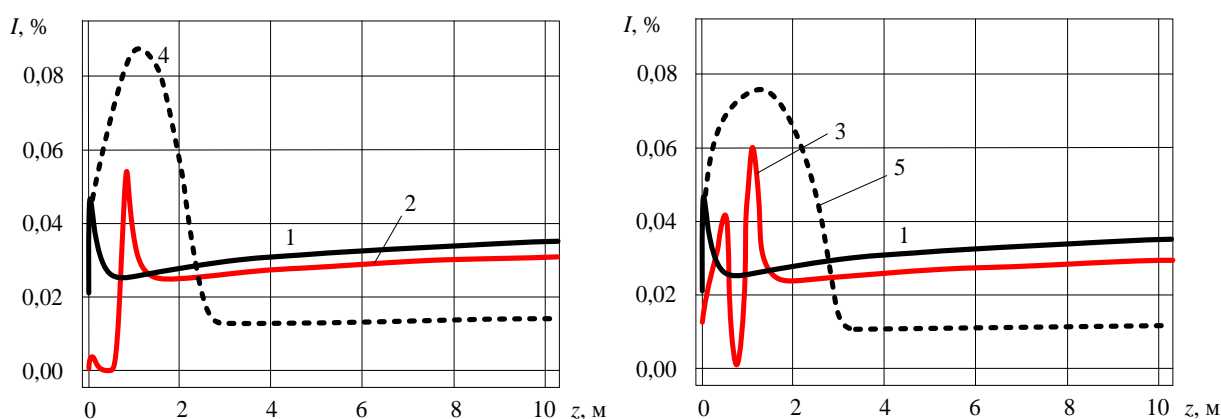


Рисунок 3 – Зависимость интенсивности турбулентности от высоты над поверхностью:
1 – в отсутствие пролива; 2 – $x = 9$ м; 3 – $x = 11$ м; 4 – $x = 40$ м; 5 – $x = 60$ м

Кривая 1 соответствует изменению интенсивности турбулентности при свободном распространении воздушного потока. Величина I резко возрастает от поверхности почвы и до высоты, соответствующей значению коэффициента шероховатости поверхности. Далее интенсивность турбулентности снижается и стабилизируется на высоте порядка 2 м. Появление пролива изменяет картину, максимум интенсивности в этом случае приходится на высоту облака примеси, это связано с тем, что восходящие потоки формируются теперь с участием паров вещества. При увеличении расстояния от границы пролива перепады интенсивности турбулентности сглаживаются, что указывает на стабилизацию распространяющегося потока.

Изменение интенсивности турбулентных пульсаций, возникающее вследствие возмущающего действия пролива, прослеживается для условий данного вычислительного эксперимента до высоты порядка 3 м и на значительном расстоянии по горизонтали, превышающем десятки характерных размеров пролива. Данный результат в дальнейшем позволит оптимизировать параметры завес, используемых для ограничения распространения облака токсичной примеси при проведении аварийно-спасательных работ в ходе ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

2. Влияние скорости ветра на концентрацию примеси

Рассматривая случай с фиксированной массовой скоростью поступления примеси в атмосферу, можно оценить влияние изменения скорости ветра на характер распределения примеси в приземном слое. С этой целью рассмотрен гипотетический случай, также соответствующий интенсивному испарению хлора, с высокой разностью температур воздуха и поверхности почвы. В данном случае интенсивность выброса примеси (хлора) с поверхности модельного пролива площадью 1 м^2 составила $q = 0,6 \text{ кг/м}^2\text{с}$. Т. е. величина массового расхода хлора источником превышает величину, соответствующую условиям натуральных испытаний [5], на два порядка. Температура поверхности почвы принята 313 К, температура воздуха 293 К. Величина коэффициента шероховатости принята соответствующей значению уровня шероховатости, характерного для местности, на которой проводились испытания.

На рис. 4, а представлены результаты расчета объемной доли хлора на различной высоте при скорости ветра 1,6 м/с. Кривая 1 соответствует значению объемной доли хлора на высоте 0,005 м, кривая 2 – значению φ_{ch} на высоте 0,1 м, кривая 3 – φ_{ch} на высоте 0,2 м.

Расположение кривых свидетельствует о том, что в приповерхностном слое происходит распространение примеси против ветра, достигающее величины пяти характерных размеров пролива (размера пролива в направлении распространения потока). Кроме этого, в приповерхностном слое (на высоте 0–0,1 м) происходит интенсивное заражение местности в высокой концентрации.

Отмеченное распространение примеси в приповерхностном слое от источника навстречу ветру является следствием существования тенденции к ее распространению во всех направлениях в отсутствии влияющих факторов.

При увеличении скорости ветра это распространение становится менее заметным, о чем свидетельствуют данные, представленные на рис. 4, б. Здесь проиллюстрированы результаты расчета объемной доли примеси на высоте 0,005, 0,1, и 0,2 м при скорости ветра 4,3 м/с. На высоте 0,005 м изменение характера распределения примеси в расчетной области не обнаруживается. На большей высоте картина меняется. При данной скорости ветра распространение хлора навстречу ветру на высоте 0,1 м уже не происходит. Даже при интенсивности испарения $0,6 \text{ кг/м}^2\text{с}$ частицы примеси не могут преодолеть сопротивление встречного умеренного ветра.

Наличие хлора в высокой концентрации непосредственно на поверхности почвы позволяет объяснить, хотя бы отчасти, наблюдавшееся в ходе натуральных испытаний явление остаточного заражения местности, фиксировавшееся при изменении направления потока [5].

Общее снижение положения кривых 2 и 3 говорит о высокой интенсивности влияния скорости набегающего воздушного потока на распределение примеси в приземном слое, что подтверждает выводы, сделанные ранее в [1].

Таким образом, увеличение скорости ветра приводит к определенному изменению распределения примеси. Во-первых, происходит интенсификация сноса примеси в направлении движения воздушного потока. Во-вторых, более интенсивно падает концентрация примеси с ростом высоты над поверхностью почвы.

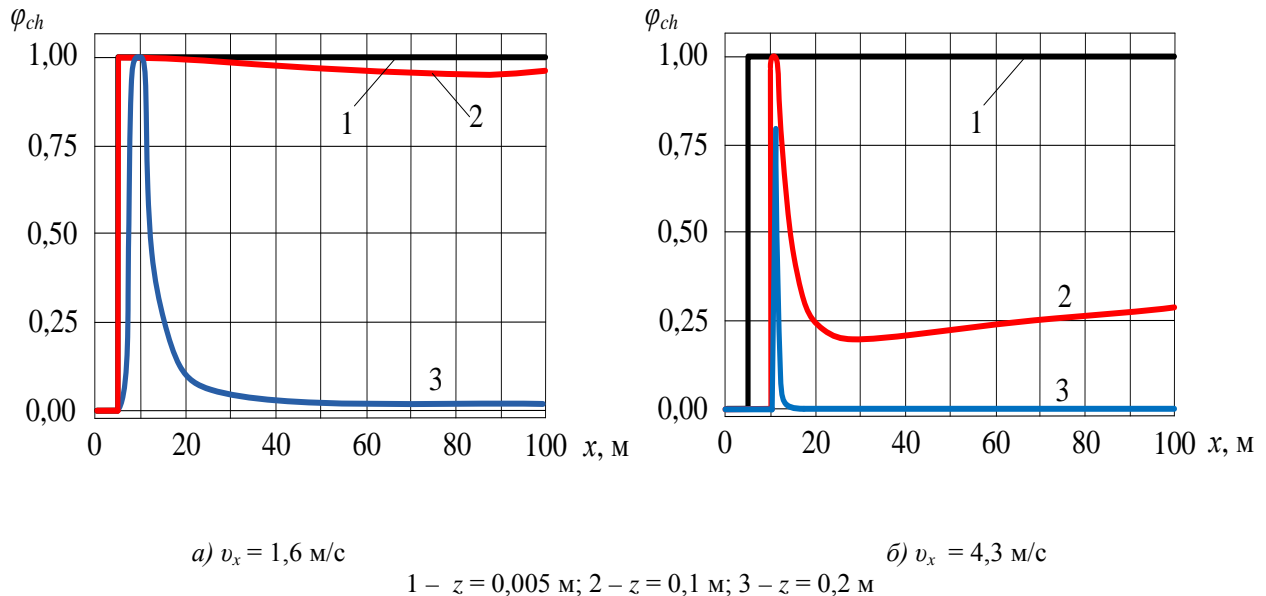


Рисунок 4 – Концентрация примеси при ее свободном распространении на высоте, выше размера шероховатости

3. Влияние температурного градиента

Проведенный вычислительный эксперимент по определению влияния перепада температуры между набегающим воздушным потоком и поверхностью почвы на распределение концентрации примеси позволил установить ряд особенностей, важнейшими из которых являются:

- слабое влияние изменения температуры воздуха на установившееся распределение значений концентрации примеси;
- преимущественное влияние положительной разницы температур между поверхностью почвы и воздушного потока.

Полученные результаты расчета концентрации примеси при повышении температуры внешней среды от 283 до 293 К указывают на то, что существенных изменений в распределении значений в этом случае не наблюдается. Это свидетельствует о небольшой доле увеличения энтальпии системы в целом за счет изменения количества теплоты, привнесенной с воздухом, в результате повышения его температуры на 10 К (~3,5 %).

Значительное влияние на распределение примеси оказывает разница температур между внешней средой и подстилающей поверхностью. Наибольшим такое влияние оказывается в случаях, когда температура поверхности почвы превышает температуру воздуха. На рис. 5 проиллюстрирован пример установленной зависимости величины объемной доли примеси на высоте 1,5 м при скорости ветра 4,3 м/с в направлении ветра (положительное направление оси x).

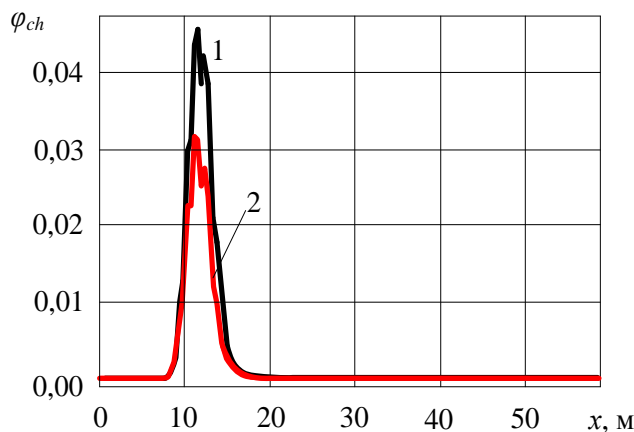
Рассмотрены случаи отрицательной и положительной разницы температур ΔT , равные +10 и -20 К. Разница температур рассчитана как

$$\Delta T = T_w - T_f, \quad (4)$$

где T_w – температура поверхности почвы, К;

T_f – температура набегающего воздушного потока, К.

Результаты расчета свидетельствуют о том, что превышение температуры почвы значения температуры внешней среды на 10 К интенсивнее влияет на распределение концентрации примеси в направлении движения приземного потока воздуха, чем в случае отрицательной разницы температур -20 К.



1 – $\Delta T = +10$ К; 2 – $\Delta T = -20$ К

Рисунок 5 – Концентрация примеси при ее свободном распространении

4. Влияние препятствий, находящихся на пути распространения потока, на концентрацию примеси

Существенное влияние на распределение примеси в приземном слое воздуха оказывают препятствия, находящиеся на пути распространения потока. Препятствия могут быть естественными или искусственными, создаваемыми в ходе проведения АСР с целью обеззараживания и ограничения распространения опасного химического вещества. В качестве таких препятствий используются специальные механические (экраны, щиты и т. п.), либо динамические (водяные или воздушные завесы) преграды.

На практике высота и протяженность создаваемых механических и динамических препятствий определяются параметрами зараженного облака и техническими возможностями подразделений по ликвидации чрезвычайных ситуаций. При этом наибольший интерес представляет рассмотрение влияния на распределение примеси пористости препятствия и его динамических характеристик.

На рис. 6 представлены изолинии объемной концентрации (доли) хлора при свободном распространении примеси (рис. 6, а) и при наличии препятствия на пути ее распространения в виде пористой перегородки (высотой 3 характерных размера пролива) (рис. 6, б). Мощность источника хлора, в соответствии с [5], $q = 0,006$ кг/м²с.

Сравнение данных, полученных для случаев свободного распространения примеси и наличия на пути движения потока пористой перегородки, позволило сделать вывод о характере ее воздействия. После прохождения потоком пористого препятствия наблюдается значительное увеличение высоты слоя, в котором распространяется примесь. Т.е. происходит не просто затрудненное проникновение потока сквозь препятствие, а имеет место его

рассеивание. Следствием такого рассеивания становится выравнивание концентрации хлора по высоте, о чем свидетельствует значительный подъем изолиний (рис. 6, б).

Оценка влияния динамических свойств преграды сделана с использованием результатов расчета концентрации хлора в потоке, на пути распространения которого находится перегородка с вертикальным направлением движения поверхности. На рис. 7 показаны результаты расчета изолиний хлора при наличии перегородок с различной скоростью движения поверхности. Скорость движения поверхности перегородки для случая, отраженного на рис. 7, б, в 3 раза выше, чем скорость движения поверхности перегородки, изолинии для которой представлены на рис. 7, а.

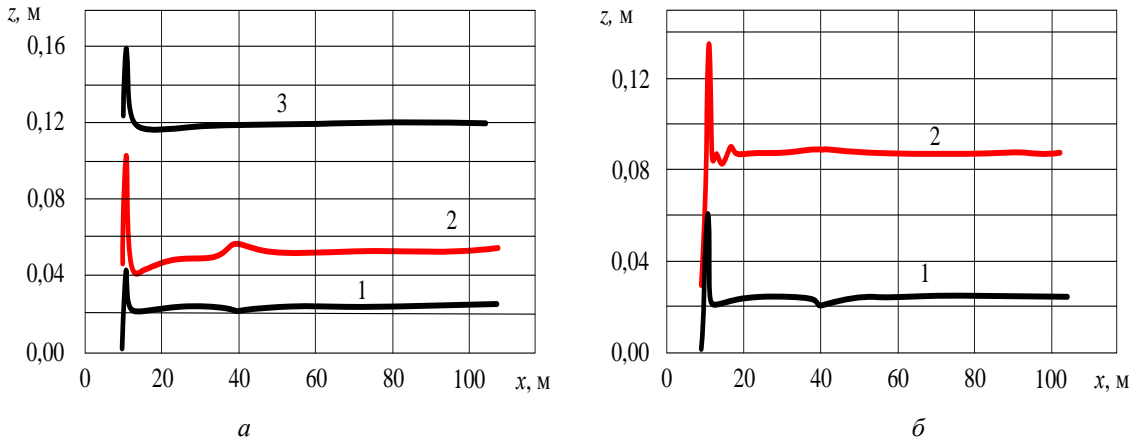
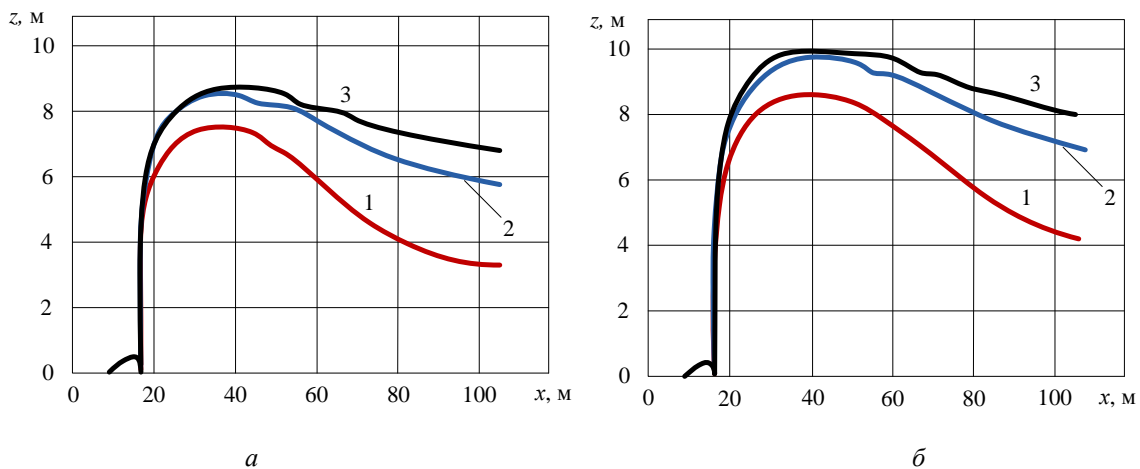


Рисунок 6 – Изолинии концентрации хлора над поверхностью почвы:
 а) при свободном распространении примеси: 1 – $\varphi_{Ch} = 0,1$; 2 – $\varphi_{Ch} = 0,01$; 3 – $\varphi_{Ch} = 10^{-7}$;
 б) при наличии пористого препятствия: 1 – $\varphi_{Ch} = 0,01$; 2 – $\varphi_{Ch} = 10^{-4}$

Под влиянием движущейся перегородки происходит захват частиц примеси, приводящий к отрыву потока от поверхности почвы. Подъем потока способствует интенсивному выбросу хлора на большую высоту, где он рассеивается под действием турбулентных вихрей. При росте скорости движения поверхности перегородки наблюдается значительное увеличение высоты подъема примеси, о чем свидетельствует относительное расположение изолиний.



1 – $\varphi_{Ch} = 10^{-4}$; 2 – $\varphi_{Ch} = 10^{-6}$; 3 – $\varphi_{Ch} = 10^{-7}$

Рисунок 7 – Изолинии концентрации хлора при наличии движущейся перегородки над поверхностью почвы при скорости ветра: а) v_z ; б) $3v_z$

Наиболее интенсивным влияние преграды на распределение примеси оказывается в случае, если преграда обладает свойствами водяной струи. На рис. 8 представлены результаты расчета изолиний в условиях, когда на пути движения потока тяжелой примеси, распространяющейся с поверхности модельного пролива, находится водная преграда. Преграда представляет собой достаточно плотную водяную струю, поднимающуюся на высоту 3 м.

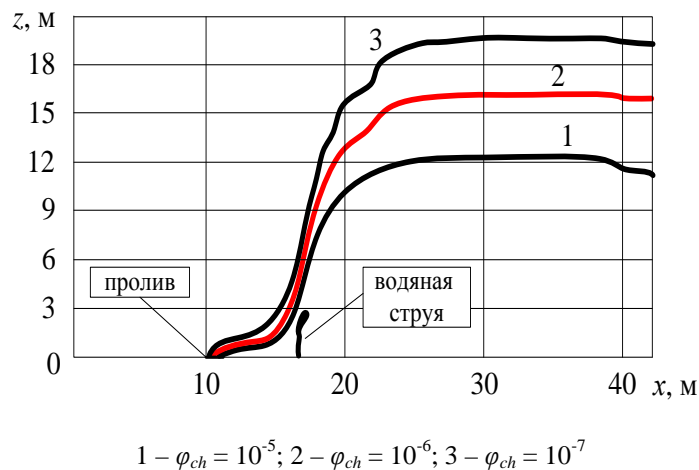


Рисунок 8 – Изолинии концентрации хлора при наличии водной преграды

Здесь отчетливо просматривается характерный изгиб струи под действием ветра и ярко выраженное отклонение потока набегающей примеси. Подъем частиц примеси набегающего потока под действием водной преграды достигает 4–6 характерных размеров преграды, что значительно превосходит влияние перегородок с движущейся поверхностью. Полученные результаты указывают на то, что во всех рассмотренных случаях влияние на распространение потока примеси препятствий в виде восходящих водяных струй по своей интенсивности оказывается наибольшим.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что существование источника примеси (пролива или газообразного выброса) на пути движения воздушных масс приводит к изменению основных характеристик распространяющегося потока. Воздушный поток, проходящий над поверхностью пролива (достигающий зоны выброса), смешивается с примесью и изменяет профиль скорости, траекторию и температуру.

В случаях проливов средней площади (до нескольких десятков квадратных метров) со стороны восходящих потоков паров вещества оказывается влияние, которое может ощущаться до высоты 10 м. Наиболее интенсивно это влияние сказывается до значения высоты 2 м. Возмущающее действие такого пролива ослабевает на расстоянии порядка 40 м в направлении распространения паровоздушного облака.

Подъемная сила, возникающая вследствие парообразования с поверхности пролива, и резкий температурный перепад, характерный для случаев проливов низкокипящих жидкостей, изменяют характеристики турбулентности набегающего воздушного потока. В случаях жидкого пролива максимум интенсивности турбулентности смещается из области, соответствующей значению шероховатости поверхности, на высоту облака примеси, формирующегося над проливом.

Данные о характере распределения примеси с учетом градиента температуры указывают на то, что если температура воздуха выше температуры почвы, влияние значений температуры на перераспределение примеси в воздушном потоке достаточно слабо. Если температура почвы выше температуры набегающего потока, необходимо учитывать влияние сил плавучести. Увеличение разницы температур приводит не только к увеличению толщины слоя распространяющегося облака примеси, но и сопровождается более равномерным распределением значений концентрации.

Существенное влияние на распределение примеси в приземном слое воздуха оказывают препятствия. Наличие на пути распространения потока примеси пористого неподвижного препятствия приводит к увеличению высоты слоя, в котором происходит дальнейшее рассеивание.

Исследование влияния динамических препятствий на распределение примеси показало, что под влиянием движущейся перегородки происходит захват частиц примеси, приводящий к отрыву потока от поверхности почвы. Подъем потока сопровождается интенсивным выбросом хлора на большую высоту, где он рассеивается под действием турбулентных вихрей. Рост скорости движения поверхности перегородки сопровождается значительным увеличением высоты подъема примеси и более равномерным распределением значений концентрации по вертикальной координате.

Наиболее интенсивное влияние на распределение примеси оказывают динамические преграды, обладающие свойствами водяной струи. Подъем частиц примеси набегающего потока под действием водной преграды достигает 4-6 характерных высот преграды, что значительно превосходит влияние других перегородок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котов, Г.В. Моделирование распространения облака примеси под действием ветра в приземном слое / Г.В. Котов, С.П. Фисенко // Инженерно-физический журнал. – 2011. – Т. 84, № 3. – С. 535–539.
2. Тищенко, Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочное издание / Н.Ф. Тищенко. – М. : Химия, 1991. – 368 с.
3. Монин, А.С. Статистическая гидромеханика / А.С. Монин, А.М. Яглом. – М. : Наука, 1965. – Ч. 1. – 640 с., – Ч. 2. – 720 с.
4. Зайчик, Л.И. Моделирование влияния мелкодисперсных частиц на турбулентность / Л.И. Зайчик, В.М. Алипченков, И.М. Козлов // Теплофизика высоких температур. – 2010. – Т. 48, № 2. – С. 224–233.
5. Котов, Г.В. Натурные испытания по определению эффективности влияния водяных завес на распространение хлора в приземном слое воздуха / Г.В. Котов, О.В. Голуб // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. № 1(29)-2011. – С. 23–31.
6. Руководство пользователя Fluent 6.1. User's Guide // Fluent Inc/-2003/-Vol.1-3.