

УДК 614.878

## МОДИФИЦИРОВАННАЯ РОТОРНО-ТУРБИННАЯ НАСАДКА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОДЯНОЙ ЗАВЕСЫ

Котов Г.В., к.х.н., доцент, Голуб О.В.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: kotovgv@mail.ru; holub@kii.gov.by

*Статья посвящена разработке модифицированной роторно-турбинной насадки, снабженной сменной крыльчаткой и имеющей изменяемый диаметр сопел. В статье представлены результаты натурных испытаний по определению технических характеристик насадки и параметров создаваемой водяной завесы.*

*The article is devoted to the development of modified rotary-turbine casing head provided with replaceable impeller and changeable diameter of nozzles. The results of verification nature test to determine technical characteristics of the casing head and parameters of created water curtain are presented.*

(Поступила в редакцию 15 марта 2012 г.)

### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей особенностью чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом (проливом) опасных химических веществ, является формирование облака зараженного воздуха как следствие поступления в атмосферу загрязняющей примеси от источника выброса (с поверхности пролива). В целях ограничения распространения паровоздушного облака в ходе ликвидации последствий таких чрезвычайных ситуаций, как правило, осуществляется постановка водяных завес.

Водяная завеса служит препятствием, обеспечивающим, прежде всего, рассеивание опасной примеси за счет ее механического перемешивания с набегающим потоком воздуха [1]. Набегающий поток, достигая завесы, испытывает с ее стороны гидродинамическое воздействие, приводящее к интенсивному турбулентному перемешиванию паровоздушной смеси, и, как следствие, снижающее концентрацию опасной примеси. Эффективность влияния завесы на набегающий воздушный поток зависит, прежде всего, от ее собственных параметров, важнейшими из которых являются геометрические размеры и плотность массива движущихся водяных капель.

Геометрические параметры: высота, длина (ширина), а также форма завесы определяют размеры перекрываемого фронта распространения облака. Увеличение геометрических размеров завесы будет способствовать росту эффективности ее использования. Вместе с тем, следует помнить, что создание завесы требует существенного расхода воды.

При постоянном расходе воды рост геометрических размеров завесы будет сопровождаться увеличением ее пропускательной способности. Частицы примеси в таком случае будут легче мигрировать сквозь объем завесы, что приведет к снижению ее эффективности [2]. Избежать падения эффективности действия завесы при увеличении ее геометрических размеров можно двумя способами: во-первых, повысить расход воды; во-вторых, изменить структуру завесы за счет оптимизации ее параметров и дисперсности водяных капель.

Увеличение расхода, несомненно, позволит повысить эффективность действия завесы, но потребует дополнительного привлечения пожарной аварийно-спасательной техники и подачи большего количества воды, которого может не оказаться в наличии. С учетом того, что чрезвычайные ситуации, связанные с выбросом опасных химических веществ, характеризуются достаточно высокой продолжительностью, потребность в большом расходе воды может

стать критическим фактором, влияющим на бесперебойную работу завесы. В связи с этим, оптимизация геометрических параметров завесы и дисперсности водяных капель является актуальной задачей, решение которой направлено на повышение эффективности деятельности аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Изменение формы завесы производится с целью приведения в соответствие ее размеров с размерами фронта распространяющегося зараженного облака. Форма завесы зависит, прежде всего, от типа используемого распылителя. В настоящее время для постановки водяных завес применяются самые разнообразные распылители: от ручных и лафетных стволов с различными видами насадок до рукавных распылителей (перфорированных рукавов). Каждый из распылителей формирует характерную для него завесу. При этом точечные источники (как правило, это стволы с различного типа насадками) создают завесы достаточно компактные, с большой длиной и малой шириной.

Источники с множеством сопел, такие как рукавные распылители, формируют завесу из большого количества восходящих струй и массива оседающих капель. Создаваемая при этом завеса имеет значительные геометрические размеры (длину, высоту и ширину), что делает ее применение наиболее целесообразным в случаях ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом опасных химических веществ. Вместе с тем, обладая целым рядом преимуществ, постановка завесы с использованием рукавных распылителей имеет недостаток, определяемый тем, что формируется сравнительно разреженный массив движущихся водяных капель. Как результат, такая завеса устанавливается на достаточно большом расстоянии от источника выброса, обеспечивающим соответствие между длиной завесы и протяженностью фронта набегающего потока зараженного воздуха [3].

В случае, когда от источника выброса распространяется достаточно узкий поток, несущий опасную примесь в высокой концентрации, наиболее рациональным представляется использование компактной водяной завесы с плотным массивом капель. Конструкция используемого при этом распылителя должна обеспечивать создание завесы, перекрывающей фронт с малой протяженностью и способной оказывать мощное турбулентное воздействие на распространяющийся поток примеси. Можно предположить, что такими свойствами обладает широко используемая в настоящее время роторно-турбинная насадка, но при этом необходимо внести в ее конструкцию ряд изменений, направленных на уменьшение расхода воды и создание плотной завесы с меньшей длиной и большей шириной.

Целью настоящих исследований было создание насадки, предназначенной для постановки водяных завес в ходе ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом опасных химических веществ. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- модификация насадки роторно-турбинной посредством изменения геометрии корпуса и диаметра выпускных отверстий, а также угла наклона лепестков крыльчатки;
- определение расхода воды при использовании модифицированной насадки;
- определение параметров водяной завесы, создаваемой с помощью модифицированной насадки.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

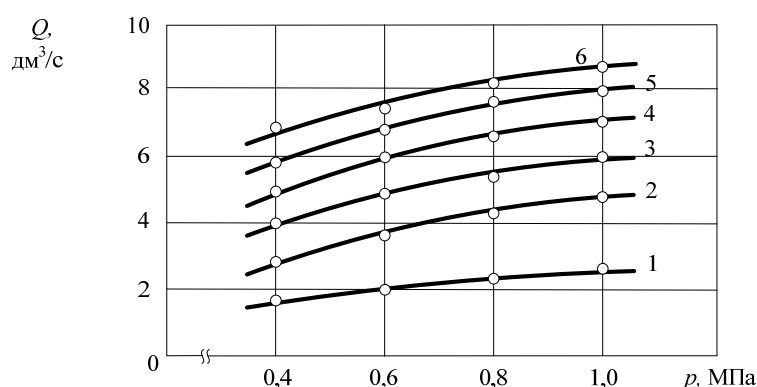
Модификация роторно-турбинной насадки производилась за счет выравнивания поверхности среза, а также установки крыльчатки с различным углом наклона лепестков и изменения диаметра выпускных отверстий (сопел). Угол наклона лепестков крыльчатки варьировался от 15° до 46°, диаметр выпускных отверстий – от 4 до 9 мм.

Подобные модификации насадки производились для того, чтобы добиться создания

завесы, обладающей параметрами, позволяющими применять ее в качестве преграды распространению облака зараженного воздуха, формирующегося в результате попадания в воздух токсичной примеси. В частности, модификации направлены на создание завес, пригодных для рассеивания компактных потоков с высокой концентрацией примеси.

Расход воды, необходимый для поддержания работы завесы, относится к числу важнейших характеристик насадки. В ходе испытаний был определен расход воды модифицированной насадки в зависимости от диаметра выпускных отверстий и давления в рукавной линии. Расход воды определялся по скорости заполнения тарированной емкости при подключении насадки к центробежному насосу пожарного аварийно-спасательного автомобиля.

На рис.1 представлена найденная зависимость расхода воды от давления в рукавной линии для насадок с диаметром отверстий 4-9 мм. Хорошо видно, что уменьшение диаметра сопел от 9 до 4 мм приводит к значительному снижению расхода воды: от 7-9 до 2-3  $\text{дм}^3/\text{с}$  в зависимости от давления в рукавной линии.



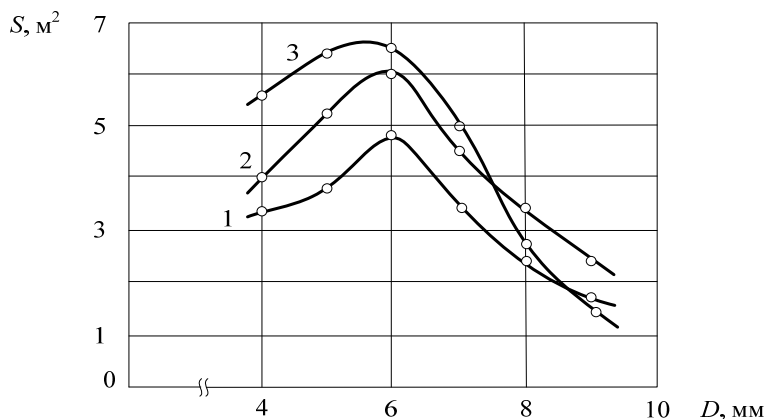
диаметры сопел: 1 – 4 мм; 2 – 5 мм; 3 – 6 мм; 4 – 7 мм; 5 – 8 мм; 6 – 9 мм

**Рисунок 1 – Зависимость расхода воды  $Q$  от давления в рукавной линии  $p$  для насадок с различным диаметром сопел**

Установленный характер влияния диаметра сопел и давления в рукавной линии на величину расхода воды объясняется целым рядом факторов: пропускной способностью сопел; присутствием на пути водяного потока вращающейся крыльчатки; собственными характеристиками центробежного насоса, подающего воду.

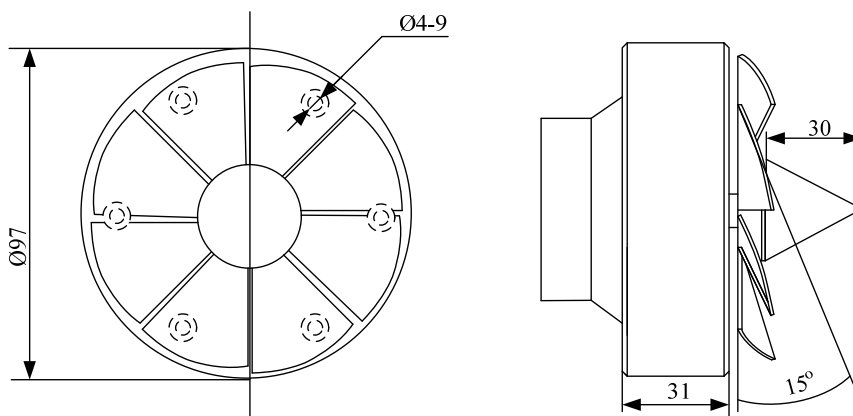
В качестве характеристики водяной завесы может рассматриваться максимальная величина площади сечения факела распыления. Площадь сечения завесы, создаваемой насадкой, зависит от всех изменяемых параметров: диаметра выпускных отверстий; угла наклона лепестков крыльчатки и давления в рукавной линии. На рис. 2 представлены значения площади сечения водяной завесы для роторно-турбинной насадки с углом наклона лепестков крыльчатки  $46^\circ$  в зависимости от диаметра выпускных отверстий при различном давлении в линии. Наблюдается зависимость с характерным экстремумом, который соответствует диаметру отверстий 5-6 мм. Наличие экстремума свидетельствует о том, что оборудование насадки выпускными отверстиями большего диаметра для увеличения площади сечения завесы становится нецелесообразным, поскольку влечет за собой существенное увеличение расхода воды.

Увеличение площади сечения завесы может быть достигнуто за счет изменения формы факела распыления. С этой целью был проведен ряд модификаций конструкции насадки. Характер выполненных модификаций проиллюстрирован на рис. 3.



давление в рукавной линии: 1 – 0,4 МПа; 2 – 0,6 МПа; 3 – 1 Мпа

**Рисунок 2 – Зависимость площади сечения  $S$  завесы от диаметра сопел  $D$  насадки с углом наклона лепестков  $46^\circ$  при различном давлении в рукавной линии**



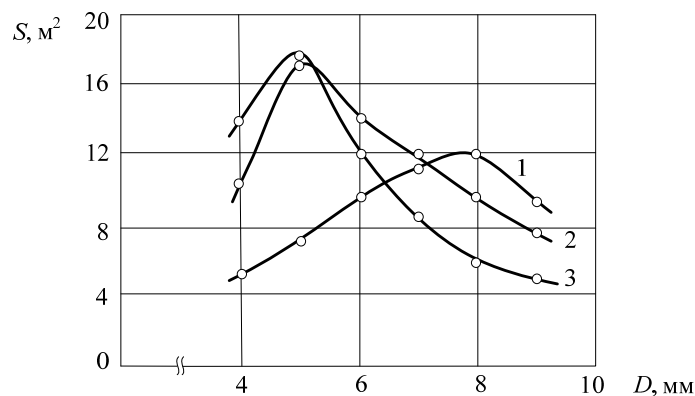
**Рисунок 3 – Схема модифицированной роторно-турбинной насадки**

Произведенные модификации обеспечивают значительное увеличение угла распыления водяной струи. Использование крыльчаток с различным углом наклона лепестков показало, что его снижение до  $15^\circ$  позволяет добиться увеличения угла распыления струи до  $120^\circ$ . В таблице представлены данные о значении угла распыления водяной струи при использовании крыльчаток с различным углом наклона лепестков.

Таблица – Значение угла распыления струи при различных углах наклона лепестков крыльчатки

Угол наклона лепестков, град.	Угол распыления струи, град.
46	50
30	90
15	120

Использование крыльчатки с углом наклона лепестков менее  $15^\circ$  нецелесообразно, поскольку при этом ухудшается измельчение водяных капель, которое влечет уменьшение интенсивности турбулентного воздействия завесы на набегающий поток.

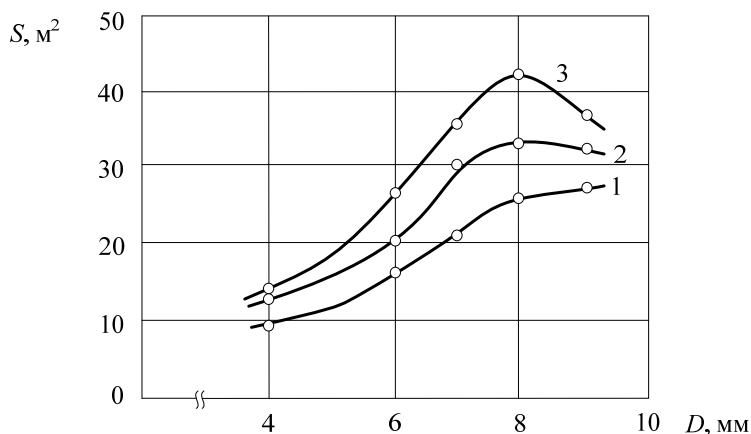


давление в рукавной линии: 1 – 0,4 МПа; 2 – 0,6 МПа; 3 – 1 Мпа

**Рисунок 4 – Зависимость площади сечения завесы  $S$  от диаметра сопел  $D$  насадки с углом наклона лепестков  $30^\circ$  при разном давлении в рукавной линии**

Характер изменения площади сечения завесы при уменьшении угла наклона лепестков крыльчатки до  $30^\circ$  отражен на рис. 4. Здесь также прослеживаются тенденции, отмеченные при использовании крыльчатки с углом наклона лепестков  $46^\circ$ . Также наблюдается экстремум в зависимости площади сечения завесы от диаметра выпускных отверстий, который соответствует значениям диаметра 5-6 мм.

Наибольшие значения величины площади сечения завесы были получены при использовании крыльчатки с углом наклона лепестков  $15^\circ$ . Имеющиеся данные проиллюстрированы на рис. 5. Максимальное значение площади сечения соответствует давлению 1 МПа и диаметру сопел 8 мм.



давление в рукавной линии: 1 – 0,4 МПа; 2 – 0,6 МПа; 3 – 1 МПа

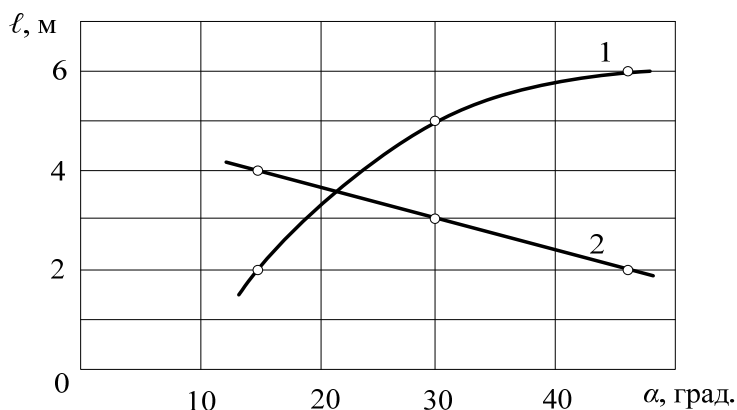
**Рисунок 5 – Зависимость площади сечения завесы  $S$  от диаметра сопел  $D$  насадки с углом наклона лепестков  $15^\circ$  при различном давлении в рукавной линии**

Имеющиеся данные позволяют сделать вывод о том, что для постановки завесы с использованием роторно-турбинной насадки целесообразно внесение ряда модификаций: оборудование насадки отверстиями диаметром 4-8 мм (с целью уменьшения расхода воды диаметр сопел может быть снижен до 4-6 мм); изменение профиля среза насадки; установка крыльчатки с углом поворота лепестков  $15^\circ$ .

Было проведено сравнение геометрических параметров водяной завесы, создаваемой модифицированной роторно-турбинной насадкой, с параметрами завес, формируемых с

применением серийных образцов устройств подачи огнетушащих средств, предназначенных для распыления водяных струй. Для этого были выбраны стволы СРП-50А, СРП-50Е, РС-А(м), РС-Б(м), РС-КЗ-70 (производство Харцызского машиностроительного завода, Украина). Анализ полученных данных показал, что выбранные ручные стволы могут создавать защитные завесы (распыленные струи) с углом распыления до  $120^\circ$ . При этом диаметр факела создаваемой завесы составляет для всех стволов от 3 до 4 м при рабочем расходе воды  $2,5-14,0 \text{ дм}^3/\text{с}$ . У лафетного ствола СЛК-П20А при расходе  $27 \text{ дм}^3/\text{с}$  при работе с насадкой диаметром 28 мм диаметр факела защитной завесы составляет 4 м. Следует отметить, что в ходе испытаний модифицированной насадки были достигнуты значения диаметра факела защитной завесы 7-9,5 м при расходе воды  $6-8 \text{ дм}^3/\text{с}$ .

В целях определения особенностей практического применения модифицированной насадки проведены замеры линейных размеров создаваемой завесы: длины и ширины. На рис. 6 на примере насадки с диаметром сопел 4 мм приведена зависимость линейных размеров завесы от угла наклона лепестков крыльчатки при фиксированном значении давления в линии. Установленный характер зависимости свидетельствует о том, что увеличение угла наклона лепестков крыльчатки приводит к уменьшению ширины завесы и увеличению ее длины.

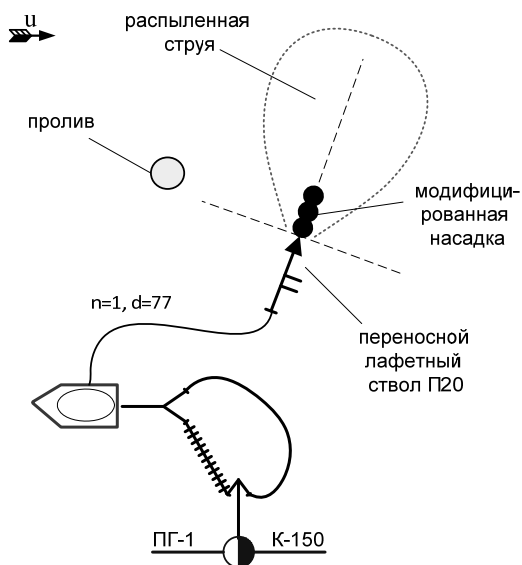


линейные размеры завесы  $\ell$ : 1 – длины; 2 – ширины

**Рисунок 6 – Зависимость линейных размеров завесы  $\ell$  от угла наклона лепестков крыльчатки  $\alpha$**

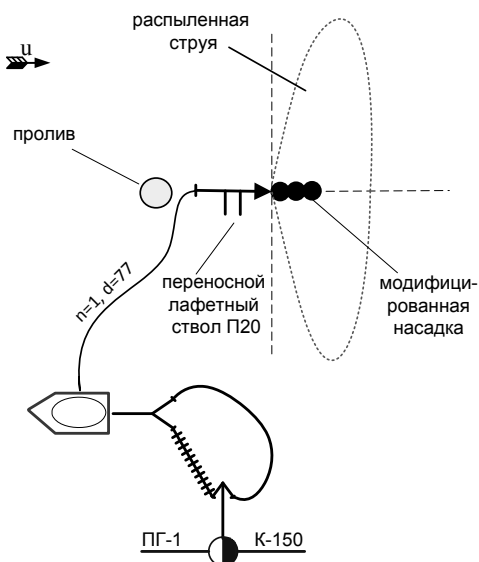
Таким образом, рекомендуемое снижение диаметра выпускных отверстий и угла наклона лепестков крыльчатки приводит к формированию водяной завесы малой длины, с большой площадью сечения и, одновременно, с высокой степенью дисперсности водяных капель. Характеристики создаваемой завесы определяют особенности ее применения в ходе ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом опасных химических веществ.

При использовании традиционной схемы постановки завесы поперек направления распространения облака зараженного воздуха рекомендуется отклонение распыленной струи на  $30-40^\circ$  в направлении движения воздушных масс. Это обеспечит дополнительное увеличение контакта массива движущихся капель с потоком распространяющейся примеси. На рис. 7 представлена схема постановки подобной завесы с применением крыльчатки с углом наклона лепестков  $30^\circ$ .



**Рисунок 7 – Схема постановки водяной завесы под углом к потоку примеси**

При использовании модифицированной роторно-турбинной насадки с углом наклона лепестков  $15^\circ$  рекомендуется иная схема постановки завесы (рис. 8). В соответствии с такой схемой распылитель располагается в непосредственной близости от источника выброса и ориентируется в направлении «по ветру». Это обеспечивает ряд преимуществ, важнейшими из которых являются: увеличение времени контакта струй с набегающим потоком и приближение завесы к источнику выброса примеси.



**Рисунок 8 – Схема постановки водяной завесы перпендикулярно направлению потока примеси**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модифицированная роторно-турбинная насадка, снабженная сменной крыльчаткой и имеющая различный диаметр выпускных отверстий, может быть использована для постановки водяных завес в случаях, когда от источника выброса (с поверхности пролива) происходит распространение компактного потока опасной примеси.

Полученные результаты позволят сделать ряд выводов:

- установленная зависимость между диаметром сопел и расходом воды позволяет добиться снижения последнего на 60 %;
- уменьшение угла наклона лепестков способствует росту степени дисперсности капель и увеличению угла распыления водяных струй до 120°;
- максимальная площадь сечения завесы может быть получена при малом угле наклона лепестков крыльчатки (порядка 15°);
- зависимость между площадью сечения завесы и параметрами насадки указывает на то, что диаметр выпускных отверстий и давление в рукавной линии должны выбираться с учетом условий реальной тактической обстановки;
- при изменении угла наклона лепестков крыльчатки наблюдается обратная зависимость между длиной и шириной создаваемой завесы.

В качестве практических рекомендаций по использованию полученных результатов предлагается:

- использовать в срезе насадки сопла диаметром не более 6 мм;
- использовать крыльчатку с углом поворота лепестков 15°;
- поддерживать давление в рукавной линии порядка 0,6 МПа;
- размещать распылитель непосредственно в распространяющемся потоке примеси, устанавливая формирующуюся завесу перпендикулярно направлению ветра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Котов, Г.В. Рассеивание и абсорбция опасных химических веществ с помощью водяных завес / Г.В. Котов, С.П. Фисенко, А.П. Еремин // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2008. – № 2(24). – С. 31–38.
2. Котов, Г.В. Тактика использования завес при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с проливом хлора / Г.В. Котов, О.В. Голуб, М.В. Гороховик // Современный научный вестник. – 2009. – № 26 (82). – С. 9–17.
3. Котов, Г.В. Постановка водяных завес при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом (проливом) хлора / Г.В. Котов // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2011. – № 2. – С. 44–52.