

**ОХРАНА ТРУДА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ (НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ) / LABOR PROTECTION, INDUSTRIAL SAFETY, SAFETY IN EMERGENCY SITUATIONS (SUBSOIL USE)**

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.57>

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ВЫБРОСЕ СТИРОЛА В РЕЗЕРВУАРНОМ ПАРКЕ**

Научная статья

**Аксенов С.Г.<sup>1</sup>, Яппаров Р.М.<sup>2</sup>, Губайдуллина И.Н.<sup>3</sup>, Шапошников А.С.<sup>4</sup>, Тараканов Д.А.<sup>5</sup>, Султанова А.Р.<sup>6</sup>, Эпимахов Н.Л.<sup>7,\*</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Российская Федерация

<sup>7</sup> Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет, Уфа, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (nikelon32[at]gmail.com)

**Аннотация**

В данной статье предложен метод оценки развития различных сценариев чрезвычайной ситуации, связанных с проливом стирола на резервуарном парке. На основе открытых данных и статистики по чрезвычайным ситуациям происходивших на резервуарных парках, хранящих стирол, выявлены 3 основных сценария развития аварий с проливом стирола. Смоделированы возможные последствия и развитие аварий. С помощью нормативных документов в области пожарной безопасности выявлено влияние на человека и окружающую среду. Помимо всего вышесказанного, выявлены возможные последствия аварий, связанных с проливом стирола и превентивные мероприятия по уменьшению риска возникновения ЧС данного характера, которая губительно влияет на окружающую среду.

**Ключевые слова:** пролив стирола, промышленная безопасность, экологическая безопасность, пожарная безопасность, моделирование развития чрезвычайной ситуации.

**SIMULATION OF EMERGENCY SITUATIONS DURING A STYRENE SPILLAGE IN A TANK BATTERY**

Research article

**Aksenov S.G.<sup>1</sup>, Yapparov R.M.<sup>2</sup>, Gubaidullina I.N.<sup>3</sup>, Shaposhnikov A.S.<sup>4</sup>, Tarakanov D.A.<sup>5</sup>, Sultanova A.R.<sup>6</sup>, Epimakhov N.L.<sup>7,\*</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

<sup>7</sup> -, Ufa, Russian Federation

\* Corresponding author (nikelon32[at]gmail.com)

**Abstract**

This article proposes a method for assessing the development of various emergency scenarios related to styrene spillage in a tank battery. On the basis of open data and statistics on emergencies occurring at the tank batteries storing styrene, 3 main scenarios of accidents with styrene spillage have been identified. The possible consequences and development of accidents have been simulated. With the help of normative documents in the area of fire safety, the impact on people and the environment has been established. In addition to all of the above, the possible consequences of styrene spillage accidents and preventive measures to reduce the risk of an emergency of this nature, which has a detrimental effect on the environment, have been identified.

**Keywords:** Styrene spillage, industrial safety, environmental safety, fire safety, simulation of emergency situation development.

**Введение**

На сегодняшний день химическая промышленность, а в частности, производство пластмасс является одной из наиболее перспективных, развивающихся отраслей промышленности Российской Федерации. Благодаря ценным свойствам полимеры применяются в машиностроении, текстильной промышленности, сельском хозяйстве, медицине и быту. Основным сырьем для производства пластмасс является стирол.

При этом учитывая физико-химические, токсические и пожаровзрывоопасные свойства стирола, аварии связанные с выходом вещества в окружающую среду представляют собой не только экологически опасные ситуации, но и пожаровзрывоопасные ситуации при наличии источников зажигания и определенных концентраций паров стирола с воздухом.

Взрывоопасными могут быть смеси паров легковоспламеняющихся жидкостей, взвеси пыли или волокон в воздухе при определенных концентрациях. При возникновении проливов углеводородов существует вероятность их воспламенения с переходом в пожар пролива. Последствия пожаров обусловлены действием их поражающих факторов. Основными из них являются: непосредственное действие огня на горящий предмет; дистанционное воздействие на предметы и объекты высоких температур за счет излучения.

Проанализировав статистические данные по авариям, связанных со стиролом, выявлено, что чрезвычайные ситуации (ЧС) с проливом стирола является наиболее распространенной.

Как правило, последствия пожаров обусловлены действием их поражающих факторов. Основными из них являются: непосредственное действие огня на горящий предмет; дистанционное воздействие на предметы и объекты

высоких температур за счет теплового излучения. Поражающие факторы наносят огромный ущерб в социальной, экономической и экологической сферах.

Целью работы является разработка алгоритма выбора превентивных мероприятий, обеспечивающего снижение разного рода ущерба, на основе моделирования развития опасных ситуаций при проливе стирола.

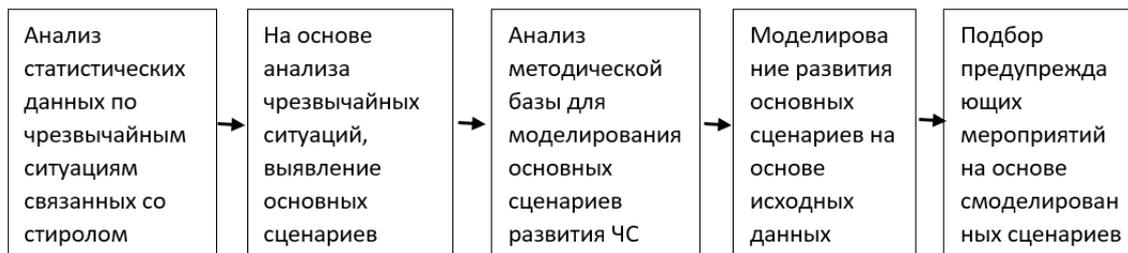


Рисунок 1 - Алгоритм моделирования развития опасных ситуаций при проливе стирола

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.57.1>

### Основная часть

Анализ статистических данных по ЧС об авариях, связанных с разгерметизацией резервуара, хранящего стирол на резервуарных парках, позволил определить 3 основных, вероятных сценария:

1) Наиболее вероятный сценарий – в результате несвоевременного и некачественного ремонта произошла разгерметизация резервуара, в котором хранился стирол, с последующим его разливом в окружающую среду. Выброс произошел бы без образования первичного облака, в связи с тем, что стирол не обращается без давления. Впоследствии образовался пролив и при наличии источника зажигания – пожар пролива стирола.

2) Наиболее опасный сценарий – в результате несвоевременного добавления ингибитора (гидрохинона) в резервуаре хранения стирола происходит полимеризация последнего внутри с повышением температуры внутри емкости. В связи с этим возрастает давление и происходит разрыв резервуара с появлением огненного шара (BLEVE) и выбросом стирола в окружающую среду. В результате действия воздушно-ударной волны при разрыве резервуара происходит разрушение соседнего резервуара и оборудования, с образованием свища и проливом стирола.

3) Сценарий с максимальным негативным воздействием на окружающую среду – в результате полного разрыва резервуара происходит выброс 19т. Стирола в окружающую среду. Первичное облако образуется в связи с тем, что в момент выброса температура стирола была достаточно высока для воспламенения.

На основе исходных данных выполнено моделирование рассматриваемых сценариев и проведены расчеты.

1. С учетом исходных данных, находящихся в открытом доступе, определили размеры зон, ограниченных нижним концентрационным пределом распространения пламени (НКПР) по методике, изложенной в (ГОСТ 12.1.044-89).

Критериями размеров зон, ограниченных НКПР газов и паров, при аварийном поступлении паров легковоспламеняющихся жидкостей в открытое пространство при неподвижной воздушной среде являются расстояния  $X_{НКПР}$ ,  $Y_{НКПР}$ ,  $Z_{НКПР}$ , м, для паров легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) рассчитываемые по следующим формулам:

$$X_{НКПР} = Y_{НКПР} = 3,2\sqrt{K} \left( \frac{p_n}{C_{НКПР}} \right)^{0,8} \left( \frac{m_n}{\rho_n \cdot p_n} \right)^{0,33}, \text{ м,}$$

$$Z_{НКПР} = 0,12\sqrt{K} \left( \frac{p_k}{C_{НКПР}} \right)^{0,8} \left( \frac{m_n}{\rho_n \cdot p_n} \right)^{0,33}, \text{ м}$$

Графические зоны, ограниченные НКПР, интегрированы на рисунке 1.

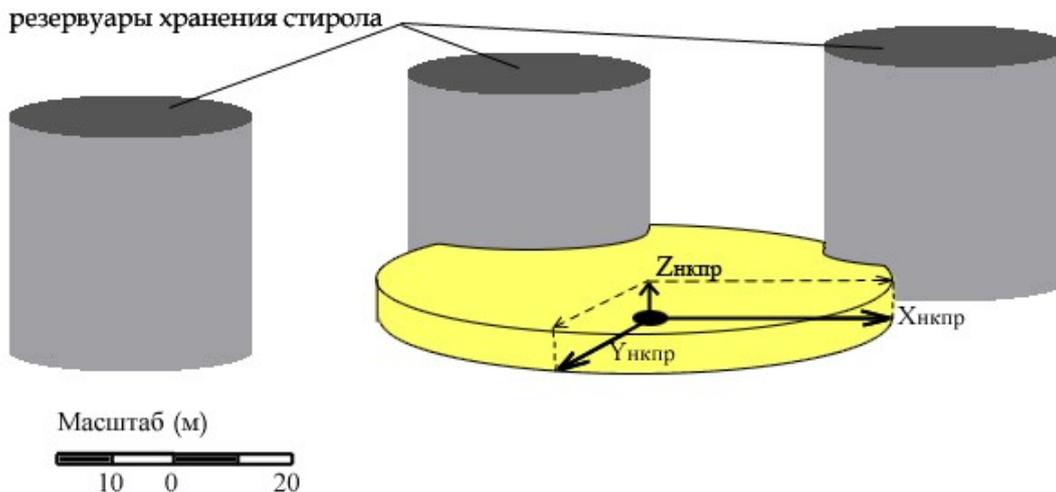


Рисунок 2 - Графическое представление зон, ограниченных нижним концентрационным пределом распространения пламени

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.57.2>

Графическая интеграция позволяет наглядно увидеть зону НКПР пламени, и сделать вывод о том, что при пожаре пролива стирола может попасть соседний резервуар.

2. Для моделирования сценария с истечением стирола из резервуара, с последующим проливом пожара, используются исходные данные. При появлении широкого спектра электромагнитных излучений, происходит нагревание рядом стоящих резервуаров, что может вызвать их возгорание.

Для оценки, возникновения эффекта *bleve*, используем методику [4], основными опасными факторами огненного шара является - разлет (разброс) частей, если вещество воспламеняемо, аэрозоль из смеси вещества и воздуха может незамедлительно воспламениться, а также фронт пламени быстро распространяется от точки воспламенения, образуя огненный шар.

Согласно методике оценка интенсивности теплового излучения  $q$ , рассчитываем по следующей формуле:

$$q = E_f F_q t, \text{ кВт/м}^2,$$

по методике [НПБ 105-03]. В связи с этим, на расстоянии 30 метров от очага пожара персонал может находиться в одежде без негативных последствий в течение длительного времени.

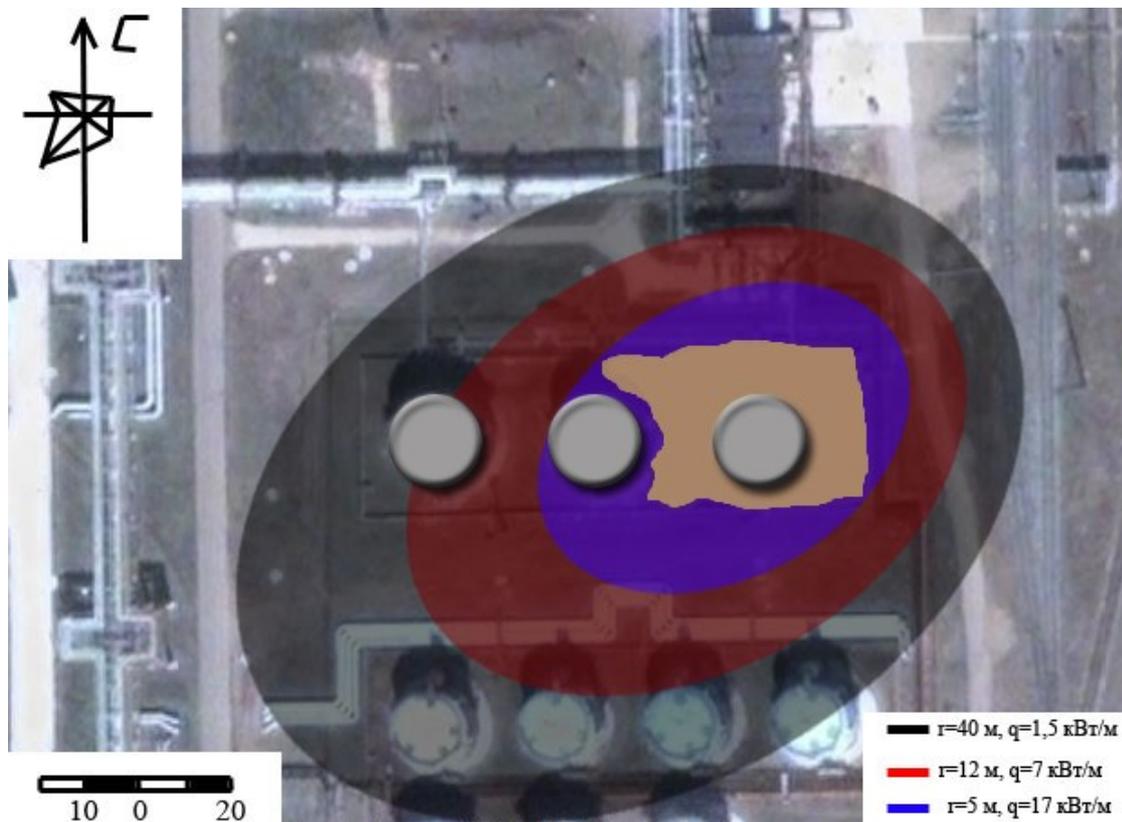


Рисунок 3 - Зоны интенсивности излучения пожара пролива стирола в зависимости от удаления от очага  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.57.3>

Исходя из полученных результатов моделирования следует, что стоящие на расстоянии 20 м от пожара пролива резервуары негативных воздействий не получат в случае пожара пролива.

3. Основной опасностью выброса стирола в окружающую среду при разгерметизации оборудования является то, что он носит залповый характер. Залповый выброс стирола – единовременный концентрированный выброс значительного количества углеводорода в окружающую среду. При залповом выбросе стирола происходит загрязнение атмосферы приземного слоя, почвенного покрова подстилающей поверхности резервуарного парка.

Процессы, сопровождающиеся изменениями в экологическом равновесии водного объекта, при попадании в него стирола показаны на рисунке 3.



Рисунок 4 - Процессы, сопровождающиеся изменениями в экологическом равновесии водного объекта, при попадании стирола  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.57.4>

На рисунке 3 наглядно показаны действия углеводородов, которые нарушают экологическое равновесие водных объектов. Известно, что 1 т стирола способна образовывать сплошную пленку площадью 2,6 км<sup>2</sup> (одна капля – соответственно около 0,25 м<sup>2</sup>). В зависимости от количества разлитого стирола толщина пленки существенно неодинакова.

#### Заключение

Исходя из всего вышесказанного следует, что стирол требует особого внимания к хранению с целью уменьшения риска возникновения пролива или пожара пролива стирола. Рассмотрение нескольких возможных сценариев при проливе стирола позволяют заранее определить последствия ЧС, а также предпринимать своевременные меры для ликвидации аварии. Данное моделирование развития опасных ситуаций может быть использовано на резервуарных парках нефтеперерабатывающих или аналогичных предприятиях.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – Введ. 1991-01-01. – Изд.-востандартов, 1991. – 112 с.
2. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – Введ. 2001-08-01.
3. Аксенов С.Г. Развитие методических основ оценки риска ЧС в резервуарных парках с использованием методов системного анализа / С.Г. Аксенов, А.Н. Елизарьев, Г.М. Манякова и др. // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 2. – С. 131.
4. Елизарьев А.Н. Анализ методических подходов к оценке пожарной опасности резервуарных парков при «больших дыханиях» / А.Н. Елизарьев, В.М. Гапонов, Т.Р. Юсупов и др. // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 7. – С. 116-120.
5. Елизарьев А.Н. Развитие методических основ оценки возникновения эффекта BLEVE при авариях на объектах хранения топлив / А.Н. Елизарьев, Р.Г. Ахтямов, М.А. Киселева и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2019. – Т. 16. – № 1. – С. 157-167. – DOI: 10.20295/1815-588X-2019-1-157-167.
6. Елизарьев А.Н. Оценка антропогенного воздействия на гидроэкологический режим водных объектов (на примере р. Белой) : дис. ... канд. геогр. наук / А.Н. Елизарьев. – Уфа, 2007.
7. Маврина Л.Н. Сравнительный анализ выбросов и сбросов вредных веществ на предприятиях этилбензола-стирола / Л.Н. Маврина, Т.М. Салимгареева, Н.А. Бейгул // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 97-99.
8. Тараканов Д.А. Сравнительный анализ методических подходов к оценке теплового излучения огненного шара при BLEVE / Д.А. Тараканов, Д.А. Тараканов, Н.Л. Эпимахов // Предотвращение. Спасение. Помощь : материалы XXX Международной научно-практической конференции / Академия гражданской защиты МЧС России. – Москва, 2020.
9. Пермяков В.Н. Анализ аварийных процессов при проливах и испарении широкой фракции легких углеводородов на газоперерабатывающих заводах / В.Н. Пермяков, М.В. Омельчук // Научное обозрение. – 2014. – № 7-1. – С. 286-289.
10. Аксенов С.Г. Развитие методических основ оценки риска ЧС в резервуарных парках с использованием методов системного анализа / С.Г. Аксенов, А.Н. Елизарьев, Г.М. Манякова и др. // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 2. – С. 131
11. Кияшко И.Ю. Моделирование экологических ЧС, вызванных загрязнением водных объектов / И.Ю. Кияшко, Л.Ю. Кияшко, А.Н. Елизарьев и др. // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 2. – С. 159-163.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 12.1.044-89. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharovzryvoopasnost' veshhestv i materialov. Nomenklatura pokazatelej i metody ih opredelenija [GOST 12.1.044-89. The system of occupational safety standards. Fire and explosion hazard of substances and materials. The nomenclature of indicators and methods of their determination]. – Introduction. 1991-01-01. – Publishing house-vostandartov, 1991. – 112 p. [in Russian]
2. NPB 105-03. Opredelenie kategorij pomeshhenij, zdaniy i naruzhnyh ustanovok po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti [NPB 105-03. Determination of categories of premises, buildings and outdoor installations for explosion and fire hazards]. – Introduction. 2001-08-01. [in Russian]
3. Aksenov S.G. Razvitija metodicheskikh osnov ocenki riska ChS v rezervuarnyh parkah s ispol'zovaniem metodov sistemnogo analiza [The development of methodological foundations for assessing the risk of emergencies in tank farms using methods of system analysis] / S.G. Aksenov, A.N. Elizariev, G.M. Manyakova et al. // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural science]. – 2018. – № 2. – P. 131. [in Russian]
4. Elizariev A.N. Analiz metodicheskikh podhodov k ocenke pozharnoj opasnosti rezervuarnyh parkov pri «bol'shih dyhanijah» [Analysis of methodological approaches to assessing the fire hazard of tank farms with «big breaths»] / A.N. Elizariev, V.M. Gaponov, T.R. Yusupov et al. // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural science]. – 2018. – № 7. – P. 116-120. [in Russian]

5. Elizariyev A.N. Development of methodological foundations for assessing the occurrence of the BLEVE effect in accidents at fuel storage facilities / A.N. Elizariyev, R.G. Akhtyamov, M.A. Kiseleva et al. // Izvestiya of the St. Petersburg University of Railways. – 2019. – Vol. 16. – No. 1. – pp. 157-167. – DOI: 10.20295/1815-588X-2019-1-157-167 . [in Russian]
6. Elizariyev A.N. Ocenka antropogennogo vozdeystviya na gidroekologicheskij rezhim vodnyh ob#ektov (na primere r. Beloj) [Assessment of anthropogenic impact on the hydroecological regime of water bodies (on the example of the Belaya River)] : dis. ... of PhD in Geological Sciences / A.N. Elizariyev. – Ufa, 2007. [in Russian]
7. Mavrina L.N. Sravnitel'nyj analiz vybrosov i sbrosov vrednyh veshhestv na predpriyatijah jetilbenzola-stirola [Comparative analysis of emissions and discharges of harmful substances at ethylbenzene-styrene enterprises] / L.N. Mavrina, T.M. Salimgareeva, N.A. Beigul // Aktual'nye voprosy v nauchnoj rabote i obrazovatel'noj dejatel'nosti [Actual issues in scientific work and educational activities] : collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference. - 2015. – P. 97-99. [in Russian]
8. Tarakanov D.A. Sravnitel'nyj analiz metodicheskikh podhodov k ocenke teplovogo izluchenija ognennogo shara pri BLEVE [Comparative analysis of methodological approaches to assessing the thermal radiation of a fireball at BLEVE] / D.A. Tarakanov, D.A. Tarakanov, N.L. Epimakhov // Predotvrashhenie. Spasenie. Pomoshh' [Prevention. Salvation. Help] : materials of the XXX International Scientific and Practical Conference / Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia. – Moscow, 2020. [in Russian]
9. Permyakov V.N. Analiz avariynyh processov pri prolivah i isparenii shirokoj frakcii legkih uglevodorodov na gazopererabatyvajushhih zavodah [Analysis of emergency processes during spills and evaporation of a wide fraction of light hydrocarbons at gas processing plants] / V.N. Permyakov, M.V. Omelchuk // Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]. - 2014. – № 7-1. – P. 286-289. [in Russian]
10. Aksenov S.G. Razvitiya metodicheskikh osnov ocenki riska ChS v rezervuarnyh parkah s ispol'zovaniem metodov sistemnogo analiza [The development of methodological foundations for assessing the risk of emergencies in tank farms using methods of system analysis] / S.G. Aksenov, A.N. Elizariyev, G.M. Manyakova et al. // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural science]. - 2018. – № 2. – P. 131. [in Russian]
11. Kiyashko I.Yu. Modelirovanie jekologicheskikh ChS, vyzvannyh zagrjazneniem vodnyh ob#ektov [Modeling of environmental emergencies caused by pollution of water bodies] / I.Yu. Kiyashko, L.Yu. Kiyashko, A.N. Elizariyev et al. // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural science]. - 2016. – № 2. – P. 159-163. [in Russian]