

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-3.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/109TVN317.pdf>

Статья опубликована 03.07.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Матвеев Ю.Н., Карельская К.А., Стукалова Н.А., Жан Поль Нкурийимана Применение распределенных гетерогенных вычислительных систем для имитационного моделирования чрезвычайных ситуаций // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/109TVN317.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-29-07970 офи\_м*

**УДК 004.75**

**Матвеев Юрий Николаевич**

ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Россия, Тверь<sup>1</sup>  
Профессор  
Доктор технических наук  
E-mail: [matveev4700@mail.ru](mailto:matveev4700@mail.ru)

**Карельская Катерина Александровна**

ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Россия, Тверь  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [kak69@yandex.ru](mailto:kak69@yandex.ru)

**Стукалова Наталия Александровна**

ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Россия, Тверь  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [nast77@mail.ru](mailto:nast77@mail.ru)

**Жан Поль Нкурийимана**

ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Россия, Тверь  
Аспирант  
E-mail: [jnkuriyimana2009@yandex.ru](mailto:jnkuriyimana2009@yandex.ru)

**Применение распределенных гетерогенных  
вычислительных систем для имитационного  
моделирования чрезвычайных ситуаций**

**Аннотация.** Повышение уровня безопасности и снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций на химически опасных объектах является важнейшей задачей автоматизации работы объектов повышенной опасности. Исследование особенностей вредоносных факторов и разработка эффективных мер по их ослаблению или ликвидации возможны только на основе использования математического моделирования химически опасных объектов.

В связи с большой сложностью и объемом решаемых задач, связанных с уничтожением запасов химического оружия, для обеспечения оперативного управления создана автоматизированная информационно-управляющая система технической безопасности хранения и уничтожения химического оружия.

---

<sup>1</sup> 170023, г. Тверь, проспект Ленина, д. 25

Для принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций необходимо решить ряд задач, которые относятся к классу задач нелинейного и динамического программирования. В работе приводятся дифференциальное уравнение баланса примеси и вычисление значения массы токсичных химических веществ, перешедшей в паро-аэрозольную фазу. Задачи имеют большую размерность и для своего решения требуют привлечения значительных вычислительных ресурсов.

Авторами предлагается использовать возможности распределенных гетерогенных вычислительных систем, в частности, облачных вычислений. В рамках существующей инфраструктуры автоматизированной информационной системы может быть создана защищенная среда облачных вычислений, на виртуальных машинах которой развернуты программные средства функциональных подсистем. Например, возможно организовать частное облако, развернутое на территории организации, обслуживаемое и контролируемое ее сотрудниками. В качестве инструментальной платформы управления вычислениями и управления ресурсами хранения данных в частном облаке предлагается задействовать некоммерческое межплатформенное программное обеспечение для организации распределённых вычислений.

**Ключевые слова:** математическое моделирование; аварийная ситуация; химически-опасный объект; автоматизированная информационная система; дифференциальные уравнения; задача управления; гетерогенные вычислительные системы; облачные вычисления; распределённые вычисления

Автоматизация химических производств, особенно объектов повышенной опасности, с целью повышения эффективности их функционирования невозможна без уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций (АС), последствия которых могут привести к техногенным катастрофам. Химические производства являются одними из самых опасных техногенных объектов для человека и окружающей биотической среды. При возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) на химических комплексах опасность многократно возрастает. В 90-е годы 20-го века в РФ произошел значительный спад объемов производства, но количество аварий на химически опасных объектах и сегодня достаточно велико. На химически опасных объектах, к которым относятся предприятия химической, нефтехимической, металлургической промышленности, для производства готовой продукции применяются токсические химические вещества (ТХВ), которые содержатся в сырье, вспомогательных материалах, технологических смесях и отходах.

Но не только на химически опасных объектах находятся вредные для человека и природы вещества. В каждом городе сосредоточены массы сильнодействующих токсических химических веществ на пищевых комбинатах, на объектах жилищно-коммунального хозяйства и т.д. По состоянию на сегодняшний день в РФ и государствах СНГ функционируют порядка 1000 крупных химических комплексов с использованием в технологических процессах достаточно больших объемов аварийных химически опасных веществ (АХОВ). Возможные аварийные ситуации на таких объектах, как правило, приводят к катастрофическим последствиям, в силу того, что последствия чрезвычайных ситуаций опасны не только и не столько для самого объекта, сколько создают опасную зону загрязнения (ОЗЗ) на территориях, расположенных в непосредственной близости к объекту, а иногда и за тысячи километров от него.

Аварийную ситуацию на техногенных объектах можно определить как неуправляемое высвобождение энергии или массы вещества, которое обладает возможностью нанести вред человеку или окружающей биотической среде. Энергия или масса этого высвобождающегося

вещества создает источник аварийной опасности. Как правило, аварийные ситуации могут быть спровоцированы внутренними или внешними событиями. К первым можно отнести события, источником которых являются процессы и операции, реально существующие на самом объекте, например, несовершенные технологические процессы и операции, износ технологического оборудования, человеческий фактор и т.д. Ко вторым относятся такие, например, события, как землетрясение или падение самолета, диверсии и т.п.

Кроме того, все возможные аварии подразделяют на две группы: «проектные» и «запроектные». «Проектные аварии» – это аварийные ситуации, не приводящие к тяжелым последствиям, поскольку разработан сценарий их протекания во времени и пространстве, а также имеется план мероприятий по их ликвидации. Это аварийные ситуации, причиной которых, как правило, являются отказы оборудования. Для уменьшения вероятности и масштабов проектных аварий предусматривается использование блокирующих систем различных типов [10]. Другие аварийные ситуации, которые не входят в первую группу, относятся к «запроектным». Источниками таких аварий являются, в основном, различного рода стихийные бедствия или последствия безответственной человеческой деятельности (взрывы, пожары и пр.). Вероятность проектных аварий гораздо выше, но размеры материального ущерба от запроектных аварий несоизмеримо больше.

Исследование причин возникновения аварийных ситуаций, входящих в обе группы, процессов протекания аварий и определение последствий их влияния на биотическую среду сопряжено с решением очень сложных научных задач. Основной трудностью таких исследований является невозможность проведения натуральных экспериментов на техногенных объектах, потому что аварию нельзя подготовить и осуществить, если, конечно, руководствоваться здравым смыслом.

Поэтому только с использованием математической модели можно описать возникновение и развитие аварийной ситуации и оценить ее негативные последствия. При исследовании такой модели определяются, хотя и приближенно, количественные значения параметров, при которых возможна эмиссия опасного вещества или источника энергии, а также появляется возможность оценить значения параметров процесса эмиссии. Прогноз развития аварийной ситуации можно рассматривать как определение последовательности событий, характеризующих эту конкретную ситуацию.

Проведенный анализ сценариев развития аварийных ситуаций на химических объектах, которые могут привести к выбросам токсичных химических веществ (ТХВ) в атмосферу с образованием облака зараженного воздуха (ОЗВ) [1], показал, что основными сценариями этих аварий могут быть:

- высокотемпературные выбросы ТХВ (взрывы, пожары);
- пролив достаточно больших количеств ТХВ на поверхности с последующим испарением в атмосферу [1].

Скорость изменения концентрации ТХВ в произвольной точке пространства ОЗВ –  $\partial Ca/\partial t$  определяется расположением в этом пространстве источников ТХВ и набором параметров, в число которых входят проекции скорости ветра –  $U$ ,  $V$ ,  $W$  на оси  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  трехмерного евклидова пространства, коэффициенты атмосферной турбулентности –  $k$  и др. [2]. Эта зависимость в общем виде описывается дифференциальным уравнением баланса примеси:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Ca}{\partial t} = & -u \frac{\partial Ca}{\partial x} - v \frac{\partial Ca}{\partial y} - w \frac{\partial Ca}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial Ca}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial Ca}{\partial y} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial Ca}{\partial z} + WaCa \right) + F + R - P - W = f(u, v, w, k, w_a, F, R, P, W) \end{aligned} \quad (1)$$

где:  $w_a$  – собственная вертикальная скорость примеси;

$R$  и  $P$  – скорости образования и исчезновения примеси в результате протекающих химических реакций;

$W$  – скорость выпадения частиц примеси на подстилающую поверхность;

$Ca$  – количество примеси –  $a$ , содержащейся в единице объема воздуха (объемная концентрация примеси) [14];

$F$  – интенсивность источника (скорость поступления ТХВ в воздух от источника примеси) [14].

Уравнение (1) определяет перенос примеси в движущейся среде, который обусловлен следующими физическими факторами: во-первых, происходит процесс молекулярной диффузии, т.к. существует разность концентраций; во-вторых, движущаяся среда увлекает частицы примеси, которые переносятся вместе с ней.

Аварийная ситуация может перерасти в чрезвычайную ситуацию, если облако зараженного воздуха выйдет за пределы санитарной защитной зоны (СЗЗ) объекта и концентрация токсичных веществ будет выше установленных предельно допустимых значений [12]. Облако зараженного воздуха распространяется в атмосфере, частицы ТХВ оседают на прилегающей территории и образуют опасную зону загрязнения (ОЗЗ). Крайне тяжелые последствия аварийных и чрезвычайных ситуаций могут возникнуть, если в качестве аварийно опасных химических веществ (АОХВ) будут выступать боевые отравляющие вещества (БОВ) – химическое оружие.

В РФ проводились и ведутся работы по решению проблемы уничтожения запасов химического оружия. В связи со сложностью и количеством решаемых задач, привлечением множества организаций-исполнителей, находящихся в различных регионах страны и для обеспечения оперативного управления ими необходимо было создать автоматизированную информационно-управляющую систему технической безопасности уничтожения запасов химического оружия. Автоматизированная информационно-управляющая система технической безопасности (АИУС ТБ) является системой верхнего уровня, интегрирующей подсистемы технической безопасности всех объектов хранения и уничтожения химического оружия.

Система позволяет обеспечить:

- единое информационно-программное пространство для всех организаций-исполнителей;
- доставку лицам, принимающим решения, объективной информации об оперативной обстановке;
- интеллектуальную поддержку и информационное обеспечение процессов подготовки и принятия решений [1];
- прогнозирование химической обстановки на объектах.

Эффективность оперативного управления технической безопасностью на техногенных объектах, в значительной мере, зависит от возможностей существующих и развивающихся

медов теории математического моделирования аварийных и чрезвычайных ситуаций, методов оценки состояний технологических процессов с учетом фактора неопределенности параметров, методов и алгоритмов теории статистических решений [1]. При принятии управленческих решений, направленных на ликвидацию чрезвычайных ситуаций, необходимо располагать информацией о техногенном объекте, его параметрах как объекта управления, о наличии специальных реагентов и других технических средств. Кроме того, необходимо иметь средства математического моделирования для оценки масштабов загрязнения местности и воздействия поражающих факторов на людей, т.е. должна функционировать достаточно мощная система поддержки и принятия решений. Математические модели, которые обеспечивают работу систем поддержки и принятия решений, являются, как правило, задачами нелинейного и динамического программирования большой размерности и вычислительной сложности и для своего решения требуют использования значительных вычислительных ресурсов.

Рассмотренная АИУС ТБ функционирует как распределенная гетерогенная вычислительная система, но на основе целенаправленно сформированных значительных объемов аппаратных ресурсов. Эта система обслуживает только объекты хранения и уничтожения химического оружия, т.е. является системой специального назначения и весьма дорогостоящей. Ориентировочно к 2020 году она потеряет свою актуальность, когда химическое оружие будет уничтожено. Для гражданских объектов в нашей стране такой подход представляется невозможным в силу различных причин (организационных, финансовых и т.д.). К тому же количество потенциально опасных объектов исчисляется тысячами единиц, они территориально рассредоточены на огромной площади и удалены друг от друга на сотни и тысячи километров.

Совершенно очевидно, что математическое моделирование, в частности, имитационное моделирование, является единственно возможным способом исследования воздействия опасных факторов [12], являющихся следствием чрезвычайных ситуаций на техногенных объектах, на живую природу и разработки эффективных мер по их устранению, вследствие того, что чрезвычайную ситуацию невозможно специально повторить, так как она уникальна [12]. Почти все параметры, количественно характеризующие возникновение и протекание чрезвычайных ситуаций, являются либо случайными величинами, либо случайными функциями. А использование экспертных оценок в качестве количественных значений входных параметров модели только подтверждает обоснованное предположение о невысокой достоверности результатов такого моделирования [1, 4, 5].

*Согласно [11] масса ТХВ в емкости  $M_E$ , высвобождающегося при взрывном разрушении оболочки емкости, распределяется следующим образом:*

- перевод в паро-аэрозольное облако –  $(0,2 - 0,3) M_E$  ;
- пролив на поверхность до  $0,5 M_E$  ;
- осадение на поверхность –  $(0,2 - 0,3) M_E$  .

*Такое распределение массы ТХВ, высвобождающегося при аварии, определяет мощность начального источника химического заражения – главного фактора образования опасной зоны заражения (ОЗЗ) [1].*

*Оценки распределения масс ТХВ, которые представляет эксперт для системы поддержки и принятия решений в результате обследования разрушенной взрывом емкости, в действительности являются одной из реализаций  $m_E(t)$  случайной функции  $M_E(t)$  [12].*

Однако, эти оценки используются при расчете концентрации ТХВ, которая является определяющим фактором образования ОЗЗ [1] по уравнениям (2, 3):

$$C_a(\bar{x}, t) = \frac{M_B}{(2\pi)^{3/2} \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3} \cdot \exp\left[-\frac{(x_1 - u_1^t)^2}{2\sigma_1^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{x_2^2}{2\sigma_2^2}\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(x_3 - x_{30})^2}{2\sigma_3^2}\right] + \exp\left[-\frac{(x_3 + x_{30})^2}{2\sigma_3^2}\right] \right\} \cdot f_p(t) \cdot f_w(t) \quad (2)$$

$$f_w(t) = \exp\left\{-0.8 \frac{v_d}{u_1} \int_0^{z=u_1^t} \frac{dz}{\sigma_3(z) \exp\left[x_3^2 / 2\sigma_3^2(z)\right]}\right\} \quad (3)$$

где:  $M_B$  – экспертная оценка массы ТХВ, мгновенно выбрасываемой из точечного начального источника химического заражения в момент времени  $t=0$ ;  $t$  – текущее время;  $\sigma_i(u_1^t)$ ,  $i = \overline{1,3}$  – условное стандартное отклонение ОЗВ по оси  $0x_i$ ,  $i = \overline{1,3}$ ;  $u_1^t$  – аргумент функции  $\sigma_i$ ,  $i = \overline{1,3}$ ;  $u_1$  – скорость ветра по оси  $0x_1$ ;  $f_p(t) = \exp(-kt)$  – функция истощения ОЗВ;  $k$  – константа скорости деградации ТХВ;  $v_d$  – скорость оседания частиц ТХВ.

Система координат – прямоугольная. Ось  $0x_1$  находится в плоскости земли и соответствует направлению ветра (направлению движения атмосферы), ось  $0x_2$  ортогональная оси  $0x_1$  и находится также в плоскости земли [1]. Ось  $0x_3$  направлена по нормали к плоскости земли.

Так как  $M_B$  – случайная величина, то для получения адекватных и приемлемых результатов расчетов необходимо использовать аппарат имитационного моделирования. Многократный «прогон» имитационной модели требует наличия значительных вычислительных ресурсов, которые, как правило, отсутствуют как на предприятиях – техногенных объектах, так и в региональных подразделениях Министерства по чрезвычайным ситуациям РФ. Можно предположить, что задача оперативного прогнозирования химической обстановки в условиях ЧС как многокритериальная задача математического программирования с большим количеством переменных различных типов либо не будет решена вообще, либо время ее решения будет недопустимым и приведет к катастрофическим последствиям.

В качестве средства разрешения этой проблемной ситуации предлагается использовать возможности распределенных гетерогенных вычислительных систем, в частности, облачных вычислений (Cloud Computing). С точки зрения конечного пользователя облачные технологии позволяют обеспечить высокий уровень доступности (high availability) и низкие риски отказов, быстрое масштабирование вычислительной системы без необходимости создания, обслуживания и модернизации собственной аппаратной инфраструктуры [3, 9]. Применение облачных вычислений для создания автоматизированных информационных систем (АИС) обладает рядом преимуществ по сравнению с существующими решениями на базе сетевых технологий «клиент-сервер». Во-первых, пользователь облачной среды может самостоятельно распоряжаться вычислительными ресурсами (серверы, сетевые хранилища и т.п.). Во-вторых, облачный сервис предоставляется по сети передачи данных и пользователю обеспечивается доступ к нему с различных устройств (ноутбуков, персональных компьютеров, рабочих станций и пр.). В-третьих, ресурсы облачной среды распределяются между пользователями с помощью модели «аренды» физических и виртуализованных сервисов. В-четвертых, для пользователя облачная среда является набором ресурсов, которыми можно управлять в соответствии с необходимыми потребностями в удобное для этого время. В-пятых, среда

облачных вычислений располагает опциями балансировки нагрузки, например, возможна передача потоков данных сразу с нескольких серверов распределенного хранилища [6].

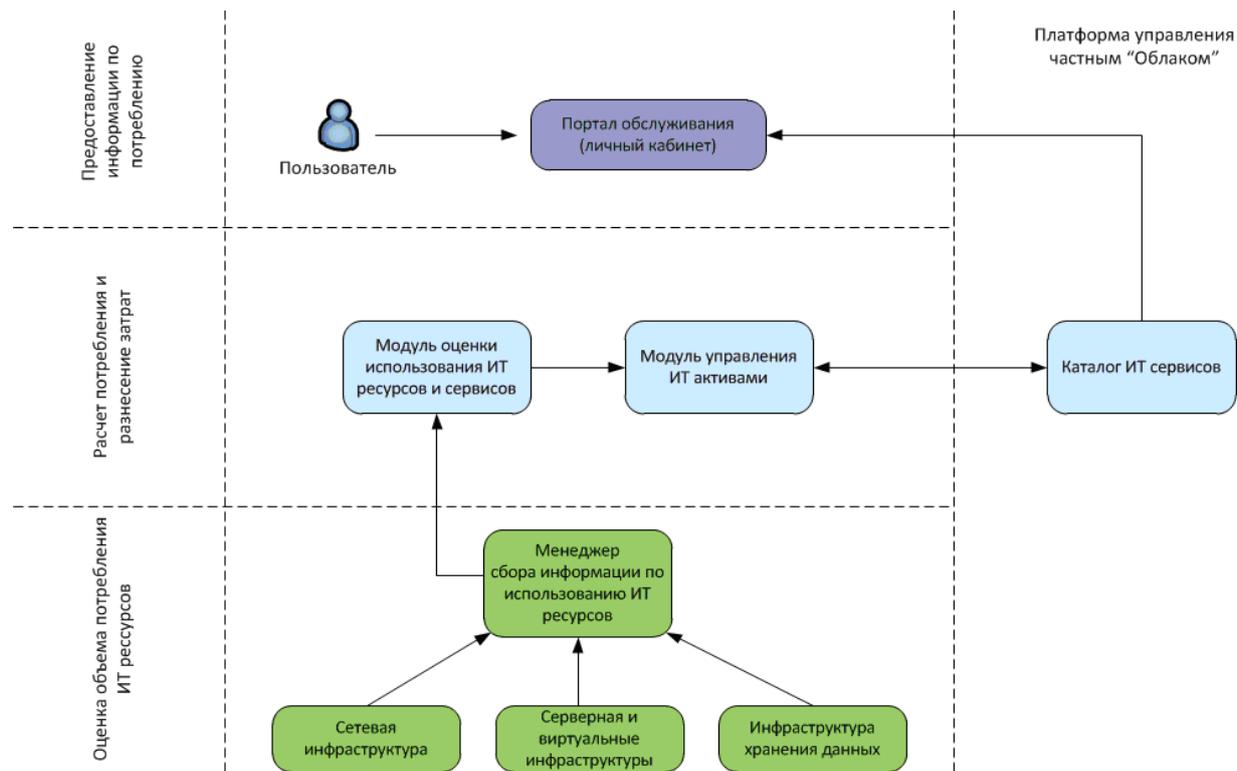
АИС обладает сложной структурой и большим набором функций, для реализации которых используются гетерогенные вычислительные ресурсы. Для повышения надежности, масштабируемости и защищенности предоставляемых сервисов в рамках существующей инфраструктуры АИС может быть создана защищенная облачная среда, на виртуальных вычислительных машинах которой развернуты программные средства функциональных подсистем АИС.

Следует отметить, что с учетом специфики информации при моделировании чрезвычайных ситуаций (конфиденциальность), скорее всего, необходимо будет реализовать либо частное облако (private cloud), либо облако сообщества (community cloud) с использованием всех категорий сервисов: Программное Обеспечение как Сервис (Software as a Service или SaaS), Платформа как Сервис (Platform as a Service или PaaS) и Инфраструктура как Сервис (Infrastructure-as-a-Service или IaaS). Идеальный вариант предлагаемого частного облака – это облако, развернутое на территории организации, обслуживаемое и контролируемое ее сотрудниками [6, 7].

Схема с общими составляющими инфраструктуры частного облака представлена на рисунке 1 [7].

В качестве инструментальной платформы управления вычислениями и управления ресурсами хранения данных в частном облаке предлагается задействовать BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing). Это открытая программная платформа университета Беркли (США) для GRID-вычислений [7, 8]. Серверная часть платформы состоит из HTTP-сервера с веб-сайтом проекта, базы данных MySQL и набора демонов (генератор заданий, планировщик, валидатор, ассимилятор результатов). HTTP-сервер функционирует только под управлением операционной системы LINUX, предпочтительно версии DEBIAN [13]. HTTP-сервер представляет собой набор PHP-скриптов и предназначен для общего управления проектом, а именно, для регистрации участников проекта, распределения заданий для обработки, получения результатов, управления базами данных проекта. В базе данных хранится информация о пользователях, их паролях, регистрации заданий, результатах, информация о хостах, программах проекта и прочее.

Пользователями аббревиатура BOINC воспринимается в контексте понятия BOINC-клиент, т.е. как универсальный клиент для работы с различными (но BOINC-совместимыми) проектами распределённых вычислений. BOINC-клиент предоставляет возможность пользователю участвовать одновременно в нескольких проектах с помощью одной общей программы управления (boinc или boinc.exe) [13]. Для визуализации процесса управления BOINC-клиентом используется поставляемая по умолчанию официальная программа-менеджер (boincmgr или boincmgr.exe) [13].



**Рисунок 1.** Схема с общими составляющими инфраструктуры частного облака [7]

Необходимо отметить, что сам BOINC-клиент не имеет пользовательского интерфейса в обычном понимании как такового, а представляет собой сервис, активизируемый при запуске системы и управляемый по протоколу TCP/IP. Однако для конечного пользователя это обстоятельство не имеет никакого значения, так как дистрибутив программы содержит программу-менеджер, которая сразу, по умолчанию, устанавливается вместе с BOINC-клиентом как единое целое и абсолютно прозрачна для пользователя [13]. В этом случае в качестве адреса BOINC-клиента, управляемого программой-менеджером, указывается адрес «localhost». Такая организация управления BOINC-клиентом подразумевает возможность использовать BOINC-клиент в «невидимом» режиме, когда запускается исключительно сервис, без пользовательского интерфейса вообще [13].

Над решением этой задачи – созданием частного облака для имитационного моделирования чрезвычайных ситуаций – уже около года работает небольшой коллектив разработчиков, в состав которого входят студенты и аспиранты, что, на наш взгляд, является очень важным и своевременным.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Матвеев Ю.Н. Основы построения автоматизированных систем оперативного управления технической безопасностью химических производств. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / ГОУВПО «Тверской государственный технический университет». Тверь, 2011 – 352 с.
- 2 Палюх Б.В., Матвеев Ю.Н., Стукалова Н.А. Некоторые подходы к решению задачи локализации чрезвычайных ситуаций на химико-технологических объектах. Логистика и экономика ресурсоэнергосбережения в промышленности (МНПК «ЛЭРЭП-9-2015»): сб. статей IX Международной научно-технической конференции. – Смоленск, 2015. – С. 226-230.

- 3 В.С. Заборовский, А.А. Лукашин. Система контроля доступа в среде облачных вычислений. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика, Телекоммуникации, Управление. №4 (152) 2012. – СПб.: Изд-во Политехнического Университета, с. 7-12.
- 4 Матвеев Ю.Н., Стукалова Н.А. Автоматизированное оперативное управление техногенными химико-технологическими объектами при возникновении заprojektных аварийных ситуаций. Труды Института системного программирования РАН. 2015. Т. 27. № 6. – С. 395-408.
- 5 Матвеев Ю.Н., Стукалова Н.А. Аспекты уничтожения химического оружия. «Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии»: сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции. Тверь, 2015. – С. 509-512.
- 6 Шошмина И.В., Богданов А.В. Использование grid-технологий для проведения вычислений. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4. Физика. Химия. 2007.
- 7 Про частные «облака»: что и как обычно делается в России, ликбез и основные проблемы. [Электронный ресурс] // Блог компании КРОК. URL: <https://habrahabr.ru/company/croc/blog/203466/> (дата обращения: 11.04.2017).
- 8 Романова А.О. Виртуализация в высокопроизводительных вычислительных системах. Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. Выпуск №03, 2011.
- 9 Матвеев Ю.Н., Стукалова Н.А., Михальцов Н.Г. Основные подходы создания grid-систем с некластеризованными ресурсами / Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сб. статей XVI Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2016. – С. 125-128.
- 10 Матвеев Ю.Н., Стукалова Н.А. Обоснование и выбор методики моделирования аварийного загрязнения атмосферы / Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сб. статей XVI Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2016. – С. 182-186.
- 11 Оценка масштабов и последствий аварийных ситуаций на объектах хранения и уничтожения химического оружия: методика ОКР / ФГУП ГосНИИОХТ. – М.: Изд-во ФГУП ГосНИИОХТ, 2002. – 128 с. – (шифр «Система»).
- 12 Матвеев Ю.Н. Основы построения автоматизированных систем оперативного управления технической безопасностью химических производств. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Тверской государственный технический университет. Тверь, 2011 – 32 с.
- 13 Семенов К.В., Антропов А.Н. Grid-системы и потенциал их использования. Вестник Инновационного Евразийского Университета. [Электронный ресурс] Павлодар, 2014. URL: <https://articlekz.com/article/13129> (дата обращения: 28.06.2017).
- 14 Матвеев Ю.Н., Стукалова Н.А. Автоматизированное оперативное управление техногенными химико-технологическими объектами при возникновении заprojektных аварийных ситуаций. Труды ИСП РАН, том 27, вып. 6, 2015 г., стр. 395-408. DOI: 10.15514/ISPRAS-2015-27(6)-25.

**Matveev Yuriy Nikolaevich**

Tver state technical university, Russia, Tver  
E-mail: [matveev4700@mail.ru](mailto:matveev4700@mail.ru)

**Karelskaya Katerina Aleksandrovna**

Tver state technical university, Russia, Tver  
E-mail: [kak69@yandex.ru](mailto:kak69@yandex.ru)

**Stukalova Nataliya Aleksandrovna**

Tver state technical university, Russia, Tver  
E-mail: [nast77@mail.ru](mailto:nast77@mail.ru)

**Nkuriyimana Jean-Paul**

Tver state technical university, Russia, Tver  
E-mail: [jnkuriyimana2009@yandex.ru](mailto:jnkuriyimana2009@yandex.ru)

## **The use of distributed heterogeneous computing systems for simulation of emergency situations**

**Abstract.** Increasing the level of safety and reducing the likelihood of emergencies at chemically hazardous facilities is the most important task of automating the operation of high-risk facilities. Investigation of the characteristics of harmful factors and the development of effective measures for their weakening or elimination are possible only on the basis of the use of mathematical modeling of chemically dangerous objects.

Due to the great complexity and scope of the tasks to be performed related to the destruction of stockpiles of chemical weapons, an automated information and control system for the technical safety of the storage and destruction of chemical weapons has been created to provide operational control.

For a decision making in the conditions of emergency situations it is necessary to solve a number of problems which fall into to a class of problems of a non-linear and dynamic programming. The differential equation of balance of impurity and calculation of value of the mass of toxiferous chemicals which passed into Paro – an aerosol phase are given in work. Tasks have larger dimension and for the decision demand engaging of the considerable computing resources.

Authors offer to use possibilities of the distributed heterogeneous computing systems, in particular, of cloud computing. Within the existing infrastructure of the automated information system the protected environment of cloud computing on which virtual computers software of the functional subsystems are developed can be created. For example, it is possible to organize the private cloud developed in the territory of the organization, served and controlled by her employees. As an instrumental platform of management of calculations and resource management of data storage it is offered to involve the noncommercial cross-platform software for the organization of the distributed calculations in a private cloud.

**Keywords:** math modeling; emergency situation; chemically dangerous object; automated information system; differential equations; control problem; heterogeneous computing systems; cloud computing; distributed computing