

## Выводы

Результаты расчетов последствий аварийных выбросов опасных веществ для аварии, представленных в работах [5, 6] и выполненных с применением программного комплекса ТОКСИ+<sup>Risk</sup>, не соответствуют основным показателям реальной аварии. Принятая в руководящем документе РД-03-26—2007 [2] модель мгновенного образования первичного облака не отвечает реальным условиям, так как не учитывает процессы, протекающие в период формирования этого облака.

В результате анализа закона распределения концентрации (п. 35 РД-03-26—2007 [2]) опасного вещества для аварий с вторичными облаками выявлены существенные недостатки, которые противоречат физической сущности происходящих процессов.

Методическое руководство РД-03-26—2007 требует существенной переработки для практического применения при проведении анализа риска аварий объектов, на которых обращаются опасные вещества, являющиеся перегретыми жидкостями.

## Список литературы

1. *Федеральный закон Российской Федерации № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте»*// Рос. газ. — № 5248. — 2010. — 2 авг.
2. *РД-03-26—2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ.* — Сер. 27. — Вып. 6. — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2008. — 120 с.

3. *Антипов В.Н.* Гармонизация методических руководств по анализу риска с федеральными законами// Проблемы анализа риска. — 2009. — Т. 6. — № 3. — С. 28–46.

4. *Антипов В.Н.* Критический анализ методов оценки возможных последствий аварий// Берг коллегия. — 2010. — № 5. — С. 12–15.

5. *Сравнение* результатов расчетов последствий аварийных выбросов опасных веществ по программным комплексам ТОКСИ+ и PHAST/ М.В. Лисанов, К.В. Ефремов, С.И. Сумской, В.А. Пантелеев// Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 2. — С. 56–60.

6. *Сравнение* результатов моделирования аварийных выбросов опасных веществ с фактами аварий/ С.И. Сумской, К.В. Ефремов, М.В. Лисанов, А.С. Софьин// Безопасность труда в промышленности. — 2008. — № 10. — С. 42–50.

7. *Динамика* аварийного опорожнения сосуда, заполненного сжиженным пропаном/ В.Н. Антипов, Н.М. Бухарова, И.А. Скаков, В.Л. Мартынович// Проблемы анализа риска. — 2010. — Т. 7. — № 4. — С. 66–71.

8. *Методы* и методики оценки последствий промышленных аварий// Безопасность труда в промышленности. — 2010. — № 12. — С. 62–63.

9. *Медников Е.П.* Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. — М.: Наука, 1981. — 176 с.

10. *Верификация* методик оценки последствий аварийных выбросов газа от источников продолжительного действия/ С.И. Сумской, А.В. Пчельников, М.В. Лисанов и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2005. — № 8. — С. 28–35.

11. *Антипов В.Н., Скаков И.А.* Особенности взрыва топливно-воздушной смеси// Сб. «Безопасность критических инфраструктур и территорий». — Екатеринбург: УроРАН, 2011. — С. 26–28.

antipew72@mail.ru

## Отзыв на статью В.Н. Антипова «Анализ некоторых результатов расчетов последствий аварийных выбросов опасных веществ»

**М.В. ЛИСАНОВ**, д-р техн. наук (ЗАО НТЦ ПБ), **С.И. СУМСКОЙ**, канд. техн. наук (АНО «Агентство исследований промышленных рисков»)

Отдавая дань уважения квалификации, вниманию и усилиям автора статьи хотелось бы заметить, что критика и комментарии как движущая сила развития воспринимаются авторами обсуждаемой модели с благодарностью и конструктивным образом, а именно как повод к анализу и, при необходимости, ревизии положений, которые, по мнению критиков, являются спорными или неверными. С этой точки зрения есть необходимость отделить научные аргументы и контраргументы от ненаучных. Последние часто можно расценивать как популистские. Явно избыточное их количество наводит на мысль о целях публикаций, отличных от научных, о чем можно сожалеть.

Отметим, что затронутые В.Н. Антиповым вопросы многократно и публично обсуждались на на-

учных семинарах «Промышленная безопасность»<sup>1</sup>, где, в частности, отмечались субъективность и необоснованность его основных критических высказываний. Тем не менее, учитывая настойчивость автора, проявившуюся в том числе в письме (исх. № 627 от 18.11.2011) руководителю Ростехнадзора с упреком в адрес главного редактора журнала «Безопасность труда в промышленности» и просьбой подействовать в публикации статьи<sup>2</sup>, прокомментируем еще раз высказанные в статье замечания.

К популистской критике следует отнести пугающие цифры ожидаемого числа погибших: «По край-

<sup>1</sup> Например, 19-й научный семинар «Промышленная безопасность», 22 ноября 2010 г. ([www.riskprom.ru](http://www.riskprom.ru)).

<sup>2</sup> Никаких указаний главному редактору относительно публикации статьи со стороны руководства Ростехнадзора не поступало. (Примеч. ред.)

ней мере, 90 % людей, обратившихся за медицинской помощью, т.е. почти 500 человек должны быть в числе погибших», которые выглядят, как результат расчетов по методике РД-03-26—2007 (далее — РД). На самом деле в работе [5]<sup>1</sup> такого утверждения нет.

В начале статьи автор заявляет о важности правильного расчета числа погибших при авариях и о необходимости оценки корректности существующих методик по этому параметру. С этой точки зрения автор рассматривает методику РД. Здесь следует отметить, что методика РД не предназначена для расчета числа погибших, ее назначение — определение пространственных размеров зон различного негативного воздействия. Следует понимать, что расчет числа погибших и размеров зон различного воздействия — две разные (хотя и взаимосвязанные) задачи. Кроме того, автор имеет несколько искаженное представление о программном комплексе ТОКСИ+: в основе его лежат более 20 методик, а не только методика РД.

Нельзя согласиться с рассуждениями о смысле термина «верификация» и выводом, что единственно возможный способ верификации — это сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными. Заметим, что речь идет о полуэмпирических моделях, т.е. построенных на теоретических предпосылках и модельных параметрах, полученных из эксперимента. Смысл и оправдание развития такого рода моделей состоит в том, что точный расчет, теоретически вполне возможный в отдельных случаях, обычно трудоемок и непрактичен, в особенности учитывая наличие большого числа случайных и неизвестных факторов, а также, справедливо отмеченный В.Н. Антипьевым, каскадный характер турбулентных процессов формирования направления и скорости ветра. Что может свести на нет усилия по точной оценке и расчету той или иной стадии или ситуации. Именно поэтому существует значительное число полуэмпирических моделей и нельзя отказывать в праве сравнивать их, хотя бы во имя научного интереса. Аналогии существуют. Например, в разделе теоретической химии, называемой квантовой химией, считается вполне допустимой верификация полуэмпирических моделей по результатам неэмпирических расчетов.

Автор подробно обсуждает сравнительный расчет истечения и распространения пропана по двум методикам, реализованным в программах ТОКСИ+ и PHAST<sup>2</sup>. При этом делаются неожиданные выводы о несостоятельности одной из модельных

<sup>1</sup> Здесь и далее приведена нумерация источников, соответствующая списку литературы в статье В.Н. Антипьева.

<sup>2</sup> Напомним, в работе [5] отмечалось, что программный продукт PHAST и его версия для оценки риска SAFETI (PHAST RISK), разработанные международной фирмой Det Norske Veritas (DNV), широко используются для количественной оценки риска в нефтегазовой и химической промышленности более 20 лет (число пользователей PHAST — свыше 450 организаций во всем мире, SAFETI — свыше 150). В России программы DNV успешно применялись для разработки деклараций промышленной безопасности, паспортов безопасности опасных объектов и другой

посылок РД, относящейся к формированию облака в начальный момент, а также определения параметров источника распространения (массовый расход и размер), логически не следующих из сравнения результатов расчетов по указанным программам.

При рассмотрении модельной аварии автор утверждает, что «исходной информации<sup>3</sup>... явно недостаточно для количественного анализа результатов расчета». Каких данных не хватает не указывается.

Далее автор предлагает «качественный анализ» результатов расчета. Фактически в этом «анализе» дается лишь перечень протекающих физических процессов. Какой результат расчета был проанализирован остается непонятным. В критикуемой автором статье [5] результаты для модельной аварии представлены в виде концентрационных полей, рассчитанных по PHAST и ТОКСИ+. Соответственно и анализ, и критика результатов расчета, если они заявлены, должны касаться именно распределения концентраций. Высказывая очередное сомнение относительно результатов расчета, автор не уточняет: какие именно результаты расчета критикует и в чем собственно состоит эта критика.

Замечание автора относительно рис. 4 [5] связано с опечаткой: рис. 4, б и 4, г при макетировании статьи ошибочно поменяли местами. Поэтому никакой иной «закономерности влияния скорости ветра на границы зон действия поражающих факторов» нет, что при внимательном анализе видно из сравнительных расчетных данных, представленных в таблицах работы [5].

Автор справедливо отмечает, что в статье [5] не рассматриваются барические и тепловые эффекты. В выводах статьи говорится лишь о схожих возможностях для расчета основных физических эффектов и показателей риска, связанных с тепловым, барическим и токсическим поражением людей при авариях. Это несколько другой акцент вывода, и он подтверждается расчетами размеров взрывоопасных зон (они приведены на соответствующем рисунке в работе [6]).

К рациональному зерну критики можно отнести необходимость разработчикам РД уделять в

проектной документации. Сравнение различных версий программ ТОКСИ+ и PHAST приведено в табл. 1 работы [5], откуда видно, что рассматриваемые программы по возможностям расчета основных явлений при авариях и показателей риска практически совпадают. В программных продуктах PHAST для оценки масштабов последствий аварий использованы широко известные в мире методики для отдельных явлений: взрывов топливно-воздушной смеси, огненных шаров и струй (в основном разработанных фирмами Shell и TNO). Для этих методик накоплено большое количество материалов по теоретической базе и верификации с экспериментальными данными.

<sup>3</sup> По-видимому, автора не устраивает подлинная информация, которая использована в работах [5, 6]: Collision of Norfolk Southern Freight Train 192 With Standing Norfolk Southern Local Train P22 With Subsequent Hazardous Materials Release at Graniteville, South Carolina, January 6, 2005. NTSB/RAR-05/04 PB2005-916304 Notation 7710A 490, 2005.

публикациях больше внимания объяснению обоснования выбора той или иной модели формирования источника и распространения, а также к интерпретации результатов расчетов и пределов их адекватности. Как выясняется, указанные моменты не всегда очевидны читающей аудитории, что может приводить к недоразумениям. Помимо этого, полезным является уточнение моделей, в частности учет падения давления и охлаждения конденсата при рассмотрении его истечения, что в определенных ситуациях может оказаться важным. Тем не менее, например, учет этих параметров при оценке последствий аварийного выброса сжиженного аммиака с использованием программы FLUENT<sup>1</sup> показал, что полученные расчетные значения зон смертельного поражения аммиаком согласуются с имеющимися данными по аварии в Потчеструме (ЮАР)<sup>2</sup>, а численные результаты имеют хорошее совпадение с расчетами [6] по методике РД-03-26–2007 с использованием программного комплекса ТОКСИ+.

Суть претензий относительно аварии с хлором можно представить в виде:

недоумения, связанного с различием числа жертв, реально имевших место при аварии в Грэнитвилле в 2005 г., и в оценке автора;

вывода о том, что это различие обусловлено несостоятельностью предпосылки о формировании цилиндрической формы первичного облака и об отсутствии его разбавления воздухом в момент формирования.

По первому пункту соображения следующие. Автор, по всей видимости, невнимательно отнесся к интерпретации сравнительных расчетов [5, 6]. Статья В.Н. Антипьева посвящена анализу результатов расчетов, приведенных в работах [5, 6], но в них нет расчетов числа пострадавших (погибших), поэтому непонятно, что вообще критикует автор. Более того, автор предлагает для расчетов погибших собственный подход, он считает, что погибнуть могут 90 % людей, изначально находившихся в зоне, где достигаются токсодозы, соответствующие 90%-ной вероятности гибели. Это очень грубое допущение, сильно завышающее число пострадавших. И естественно, что эти расчеты автора совершенно не совпадают с практикой аварий (в том числе и с аварией в Грэнитвилле). Автор ошибочно считает, что люди, оказавшиеся в зоне поражения, остаются на своих местах и не предпринимают попыток к выходу из зоны: не учитывает роль оповещения населения специальными сигналами, а также действия спасательных служб, которые выводят людей из заблокированных мест,

и, наконец, действия медиков. Кстати, в Грэнитвилле именно четкие действия спасателей и медиков, а также своевременное оповещение об аварии позволили избежать катастрофических последствий. Обычно в числе погибших оказываются от 2 до 10 % людей, изначально находившихся в зоне поражения. Для Грэнитвилля это составило бы от одного до нескольких десятков человек. И эта оценка гораздо более корректна, чем насчитанные автором 500 человек погибших. Помимо прочего, большинство людей, оказавшихся в зоне летальных токсодоз, по всей видимости, находились не на открытом воздухе, а в закрытых помещениях, что нетрудно предположить, учитывая темное время суток и температуру 13 °С. Некоторые из тех, кто все же оказался на открытом воздухе, самостоятельно выходили из зоны поражения, не дожидаясь получения смертельных доз, других выводили пожарные, вероятно используя простейшие средства защиты органов дыхания.

По поводу предположения о форме первичного облака и степени разбавления его воздухом.

Согласно В.Н. Антипьеву первичное облако выброшенного газа, плотность которого выше плотности воздуха, представляет собой сферу (полусферу), но не цилиндр. По его мнению, в работе [8] приведен неудачный пример, так как в опыте в Торней Айленде изначально задавали форму облака — цилиндр.

В экспериментах в Торней Айленде не было избыточного давления в объеме, что позволило рассмотреть ситуацию в чистом виде для определения формы первичного облака при отсутствии резких градиентов давления и, как следствие, разлета облака. Было показано, что облако, имевшее в начальный момент времени форму цилиндра, быстро оседает (начало этого оседания и показано на рисунке [8]). При этом облако имеет низкую высоту и довольно изотропный размер по радиусу, т.е. форму блина-цилиндра, которая сохраняется на начальной стадии рассеяния. Что как раз и должно предоставить возможность «...проследить за изменениями размеров и формы облака в разные моменты времени».

Заметим, что в рассматриваемой ситуации (практически мгновенного испарения значительной доли хлора) первичная форма облака не существенна для оценки такой интегральной величины, как масштаб зоны смертельных токсодоз. Причина в том, что распространение облака происходит на расстояние, значительно превышающее размеры источника, и результат оценки зоны поражения почти не зависит от размеров первичного облака (полусферы или цилиндра), содержащего весь испарившийся хлор, не разбавленный воздухом. Это достаточно очевидно и вытекает из простейших оценок. Несколько странным представляется значение «первоначальной объемной

<sup>1</sup> Старовойтова Е.В., Галеев А.Д., Поникаров С.И. Оценка последствий аварийного выброса сжиженного аммиака с использованием программы FLUENT// Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 12. — С. 47–51.

<sup>2</sup> Маршалл В. Основные опасности химических производств. — М.: Мир, 1989. — 672 с.

доли хлора в облаке... 0,02 %» и нуждается в более подробном обосновании. Так, диаметр полусферы будет составлять 46 м, если в начальный момент в ней сосредоточен неразбавленный воздухом хлор, и 800 м, если объемная доля хлора 0,02 %. Это представляется невероятным и плохо согласуется с реалиями. Кажется очевидным, что гипотеза о неразбавленном первичном облаке в данном случае более реалистична, хотя, повторим, что для результата оценки размера зоны токсодоз в рассматриваемой ситуации не столь существенна.

Говоря о критике формул, описывающих распределение концентрации, заметим, что разработчики РД не являются авторами используемой модели рассеяния, которая весьма распространена, если не общепотребима, и острие критики логично было бы направить в другом направлении. Модель и формулы, как уже отмечалось, являются полуэмпирическими, со всеми ограничениями и условностями, присущими такого рода моделям. Критику можно было бы признать конструктивной, если бы автор предложил альтернативную модель и приложил бы свои усилия к описанию ее преимуществ.

Что касается следствий, вытекающих из формул, о неизменности концентраций от времени и скачкообразном изменении концентрации, то отметим следующее. Концентрация в фиксированной точке пространства действительно относительно постоянна в течение некоторого времени, что определяется временем действия источника и постулированным в РД постоянством массового расхода поступающего в атмосферу газа. Скачкообразные изменения, которые, как можно предположить, наблюдались автором, связаны с прекращением действия источника, и действительно имеют место при определенных условиях и моделируют достаточно резкую границу облака, которое в дальнейшем тем не менее «расплывается».

Распределение концентрации действительно симметрично относительно оси  $X$  в направлении ветра, и концентрация по оси  $Z$  максимальна на уровне земли. В этом мы не усматриваем противоречий, в отличие от автора критической статьи. Подобным же образом объясняются и другие комментарии, относящиеся к неизменности формы облака при проливе нефти.

Утверждение В.Н. Антипьева, что процессы рассеяния определяются только молекулярной диффузией: «При отсутствии ветра будет иметь место только молекулярная диффузия. Взаимопроникновение частиц газа и воздуха происходит в соответствии с законами молекулярной физики для газовых сред» — это ошибка в трактовке атмосферных процессов. Автор не учитывает три основных процесса: атмосферную диффузию (турбулентность), действие силы тяжести, генерацию турбулентности наведенными течениями. Взаимосвязь этих процессов дает цилиндрическую форму облака для «тяжелого

газа». Такая форма облака принята как допущение в РД и подтверждена результатами экспериментов.

В.Н. Антипьев сомневается в правильности учета в РД изменений скорости ветра. С одной стороны, по его мнению, они не учитываются, но с другой стороны, учитываются, но непонятным образом. На самом деле для учета изменения скорости ветра по высоте в РД используется переменная  $\alpha_b$ : в п. 25 вводится характеристика профиля ветра  $\alpha_b$ ; в п. 28 выбирается  $\alpha_b$ , значения которой даны в табл. 7.3, далее  $\alpha_b$  используется в формулах (94)–(96), (98)–(132). В РД применяются общепринятые профили скорости ветра, неявно (в математическом смысле) их можно видеть в формулах (92)–(93). Именно эти зависимости и аппроксимируются степенной зависимостью, использованной в РД. Специалистам эти зависимости хорошо известны (McRae G.J., Goodin W.R., Seinfeld J.H. *Atmospheric Environment*. — 1982. — Vol. 16. — Iss. 4. — P. 679–696; Flux-Profile Relationships in the Atmospheric Surface Layer/ J.A. Businger, J.C. Wyngaard, Y. Izumi, E.F. Bradley// *Journal of Atmospheric Sciences*. — 1971. — Vol. 28. — Iss. 2. — P. 191–190), поэтому критическая составляющая данного фрагмента несостоятельна.

Автор считает, что «около поверхности земли изменение скорости ветра подчиняется логарифмическому закону». В трактовке атмосферных процессов, далеко не всегда в атмосфере реализуется логарифмический профиль скорости ветра.

Итоговый вывод о непригодности модели РД по логике автора следует также распространить и на программу SAFETI компании DNV. Но он «не замечает» вполне удовлетворительное (с учетом допущений модели) согласие расчетов по РД и программе SAFETI<sup>1</sup> компании DNV, являющейся авторитетной для специалистов по анализу риска аварий во всем мире. В то же время В.Н. Антипьев не представляет ни одного факта, которому противоречили бы результаты расчетов по этим программам, ни каких-либо предложений по более точному расчету (методикам) последствий аварийных выбросов.

В статье имеется немало и других положений, с которыми сложно согласиться. Рассмотрим часть из них.

Автор считает, что процесс рассеяния в обязательном порядке должен протекать во времени: «О каком рассеянии опасного вещества может идти речь, если концентрация в любой точке облака не изменяется со временем?» По сути, автор

<sup>1</sup> Phast Risk — onshore QRA software system// DNV Managing Risk/ URL: <http://www.dnv.com/services/software/products/safeti/safetiqra/phastrisk.asp> (дата обращения 19.03.2012). Сравнение результатов расчетов последствий аварийных выбросов опасных веществ по программным комплексам ТОКСИ+ и PHAST/ М.В. Лисанов, К.В. Ефремов, С.И. Сумской, В.А. Пантелеев// *Безопасность труда в промышленности*. — 2011. — № 2. — С. 56–60.

утверждает, что в разделе математики «Уравнения математической физики» для уравнений диффузии (рассеяния) отсутствуют стационарные решения, т.е. при наличии производных вида  $\partial^2 c / \partial x^2$  в уравнении всегда должно быть и слагаемое вида  $\partial / \partial t$ . Математикам и физикам хорошо известен класс решений («стационарные решения»), когда имеют место процессы диффузии (т.е. рассеяния), но изменения во времени не происходят. Примером может служить стационарная струя. Большое количество решений для стационарных струй можно найти, например, в работах Е.В. Бруацкого<sup>1</sup>. В этих решениях, как и в РД, «в любой фиксированной точке  $(x, y, z)$  [струи]... концентрация не зависит от времени, т.е. остается постоянной величиной в пределах времени существования [струи]...»

Утверждение автора — что «выражение (5)<sup>2</sup> не является законом сохранения массы», без подтверждения соответствующими выкладками не может рассматриваться как истинное. Кроме того, имеется непонятная логическая связка: «Концентрация на поверхности земли принимает максимальное значение. Следовательно, выражение (5) не является законом сохранения массы...» Необходимо пояснить подробнее, почему из максимума концентрации на земле следует, что уравнение (5) не является законом сохранения массы.

Так же неясен термин «среднее интегральное значение концентрации по всему облаку». Непонятно, чему равна эта концентрация. Автору следует не ограничиваться приведением бездоказательных формулировок, а дать правильные, на его взгляд, формулы, с четкими логическими связями, определениями переменных.

Далее автор утверждает, что выражения (6) и (7) противоречат физическому смыслу, поскольку аргументом  $B'_{эфф i}$  и  $H'_{эфф i}$  является количество опасного вещества, а аргументами  $S'_{yi}$  и  $S'_{zi}$  — «состояния атмосферы» и «экспериментальные данные». С математической точки зрения абсурдно приравнивать функции разных аргументов (т.е.  $B'_{эфф i}$  и  $H'_{эфф i}$ , с одной стороны,  $S'_{yi}$  и  $S'_{zi}$ , с другой). Данное замечание ничего, кроме недоумения, вызвать не может. В математике в непрерывных функциях под аргументом понимается непрерывная независимая переменная. Как трактовать в качестве такой независимой переменной «экспериментальные данные» или «состояния атмосферы» остается загадкой. С другой стороны, даже неудобно напоминать, что в механике сплошных сред сложился стандартный набор независимых переменных: три пространственные переменные и время. В РД

именно эти четыре переменные и являются аргументами. Поэтому нет никаких «приравнений» функций разных аргументов, а есть выражение одной функции через другую, и все функции зависят от одних и тех же аргументов.

Далее автор заявляет:

«Необходимо отметить абсурдность условия (4). Концентрация не может быть равной нулю за указанными пределами  $x$ , так как в соответствии с документом [2] вторичное облако представляет собой непрерывный поток опасного вещества в смеси с воздухом».

Формула (4) означает, что если точка  $x$  лежит за пределами облака ( $x'_{ni} < x$  — передний край облака  $x'_{ni}$  не дошел до точки  $x$ , или  $x < x'_{zi}$  — задний край облака  $x'_{zi}$  прошел точку  $x$ ), то концентрация опасного вещества в окружающей среде равна нулю, т.е. нет облака — нет концентрации. Автор считает такой подход «абсурдностью», потому что «вторичное облако представляет собой непрерывный поток опасного вещества в смеси с воздухом». Объяснение туманное, чему должна равняться концентрация опасного вещества вне облака, если не равна нулю, — непонятно;

«При турбулентном режиме никакого ядра быть не может (т.е.  $b'_i$  должно равняться нулю)».

В турбулентных потоках может существовать ядро — зона, где параметры в поперечном сечении постоянны. Этот вопрос хорошо освещен в литературе<sup>1</sup>. Причина наличия ядра очевидна: при выбросе из источника конечного размера, когда на месте выброса параметры потока одинаковы в поперечном сечении, турбулентный слой начинает формироваться на границе «выброс — окружающая среда». Этот турбулентный слой развивается постепенно, поэтому какое-то время в потоке будет существовать и зона потока с постоянными параметрами (ядро) и зона с изменением параметров (турбулентный слой). На каком-то расстоянии от источника турбулентные слои смыкаются, и тогда «ядро» исчезает;

«Не реально и симметричное распределение концентрации ОВ в турбулентном потоке воздушных масс».

Турбулентный поток (мгновенное распределение) действительно в каждый момент времени не является симметричным, однако в РД (равно как и в любом другом подходе) не рассматриваются мгновенные значения. Их рассмотрение не имеет практического смысла, поэтому рассматриваются лишь осредненные величины. При этом турбулентность предполагается однородной. Распределение же средней величины при таких допущениях неизбежно приобретет симметричный характер. Собственно, гауссовское распределе-

<sup>1</sup> Бруацкий Е.В. Турбулентные стратифицированные струйные течения. — Киев: Наукова думка, 1986.

<sup>2</sup> Здесь и далее приведена нумерация формул, соответствующая нумерации в статье В.Н. Антипова.

<sup>1</sup> Абрамович Г.Н. Турбулентные струи// Прикладная газовая динамика. — М.: Наука, 1969. — С. 332.

ние, характерное для множества процессов, в том числе и для атмосферной диффузии, и есть результат такого осреднения. Как хорошо всем известно, гауссовское распределение — симметрично. Таким образом, никакие несимметричные распределения при используемых предпосылках просто невозможны;

«В соответствии с формулами (2) и (3) образованное вторичное облако неподвижно и вообще не будет рассеиваться».

Автор не понимает, как долго будет существовать вторичное облако: «...не указывает, как долго будет держаться это облако (видимо, пока не произойдет взрыв)». Вторичные облака все-таки рассеиваются, об этом мы уже говорили выше. Что же касается «неподвижности» облака, то смысл этого утверждения вообще непонятен. Облако движется с известной скоростью. Перемещения переднего и заднего фронтов облака описываются приведенными в РД формулами (127)–(128). Время же существования вторичного облака формально ничем не ограничено: оно летит и рассеивается до все меньших и меньших концентраций;

«... $c_{цi}^j$  — это концентрация опасного вещества на поверхности земли, а не в центре облака».

В РД считается, что центр облака лежит на поверхности земли, автор же непонятно почему предположил, что центр облака лежит где-то в другом месте, при этом не уточняет где. Это элементарная подмена терминов РД в целях последующего «разоблачения» так называемых ошибок РД.

Стоит также добавить некоторые замечания по тексту критической статьи:

вместо фразы «из выражений (2) и (3) следует...» более правильно писать «Из выражений (2)–(4) следует...», поскольку полностью профиль концентрации описывают именно уравнения (2)–(4), а не (2) и (3);

использование термина «количество опасного вещества во вторичном облаке» не совсем правильно. Более корректно говорить о «расходе опасного вещества во вторичном облаке»;

«в руководящем документе [2] не дается четкого определения используемого понятия «дисперсия», но в РД нет понятия «дисперсия». В РД есть лишь переменная, которая в своем названии содержит слово «дисперсия», поэтому нет надобности давать толкование понятия «дисперсия»;

автор считает, что рис. 4 [5] — это результаты расчета, однако это всего лишь условная схема;

автор настаивает на приведении в РД математических выкладок (например, интегрирования до Г-функций), но РД не учебник и не сборник упражнений, поэтому это требование излишне.

В заключение следует обратить внимание еще на один момент критических высказываний автора: они в большинстве своем абсолютно не-

конструктивны. В одной-двух фразах содержатся категоричные, не подкрепленные никакими аргументами суждения, перечеркивающие целые разделы различных физико-математических дисциплин, при этом не приводится никаких суждений о том, как, по мнению автора, должен выглядеть правильный вариант. Это касается и выводов:

1. Почему отрицательные эмоции автора направлены только в адрес программного комплекса ТОКСИ+, в то время как в работах [5, 6] представлены удовлетворительные результаты сравнительного анализа программных комплексов ТОКСИ+ и PHAST DNV.

2. У какого закона распределения концентрации (если таковой закон существует) и кем выявлены существенные недостатки, которые могут противоречить физической сущности происходящих процессов.

3. Почему бы автору не обосновать «существенность» и не дать конкретные направления переработки методического руководства РД-03-26—2007, поскольку речь идет о действующем нормативном документе Ростехнадзора<sup>1</sup>.

Таким образом, мы не можем согласиться с выводами статьи В.Н. Антипьева о непригодности модели РД-03-26—2007 для расчета последствий аварий, связанных с рассеянием опасных веществ в атмосфере, а призываем к более внимательному ее применению. Но признаем необходимость более подробных и тщательных обоснований выбора тех или иных параметров моделей и модельных ситуаций (например, влияние разбавления, учет изменения давления, температуры, расхода, рельефа местности и др.).

В связи с важностью развития конструктивной критики для совершенствования методического обеспечения анализа риска считаем целесообразным:

1. Авторам критических публикаций представлять конкретные факты, противоречащие расчетам, выполненным по этим документам, а также давать конструктивные предложения по их совершенствованию.

2. Обсуждение вопросов совершенствования методических документов проводить в рамках научных конференций и семинаров с участием ведущих специалистов в области оценки риска и моделирования аварий на опасных производственных объектах. ■

<sup>1</sup> РД-03-26—2007 разрабатывали ученые и специалисты надзорных органов более 10 лет. Результаты исследований регулярно с 2003 г. размещали на сайте safety.ru, они были отражены в многочисленных статьях и выступлениях, декларациях промышленной безопасности и иных документах по анализу риска, в том числе в работах по сравнению расчетов с данными аварий и с аналогичными зарубежными методиками. При утверждении РД-03-26—2007 были учтены отзывы более 20 ведущих экспертных и научных организаций (Институт динамики геосфер РАН, НИИ «Атмосфера», Институт вычислительного моделирования СО РАН, ФГУ ВНИИПО МЧС России, ВНИИ ГОЧС и др.).