

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ НЕКОТОРЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ*

А.М. ГРИШИН

Томский государственный университет, Россия

e-mail: fire@fire.tsu.tomsk.su

Обсуждаются определения и общие закономерности катастроф. Утверждается, что для их прогноза и математического моделирования целесообразно использовать детерминированно—вероятностные модели. Это показывается на примерах задач, рассмотренных в последнее время в ТГУ. Обсуждается влияние сопряженного тепло – и массообмена на возникновение и развитие некоторых природных и техногенных катастроф и предлагается осуществлять эколого–математический мониторинг потенциально опасных объектов.

1. Основные определения и понятия физической теории катастроф

«Вопрос об общих закономерностях возникновения и развития катастроф исследован недостаточно. В настоящее время нет даже обще принятого определения экологической катастрофы. В частности, в [1, 2] отсутствует определение катастрофы, а в [3], наоборот имеют место три формулировки экологической катастрофы, которые мало связаны с физикой явления.

Поэтому в данной работе, следуя [4–7] катастрофой называется относительно быстрое и необратимое изменение параметров состояния окружающей среды, которое приводит к резкому ухудшению условий проживания и гибели растительности, животных и людей. Термин «относительно быстрое» означает, что характерное время катастрофы t_k значительно меньше среднего времени жизни человека t_* .

Бывают природные и техногенные катастрофы

Под природной катастрофой понимается разрушительное явление, вызванное геофизическими причинами, которые не контролируются человеком (землетрясения, наводнения, извержения вулканов, лесные пожары и др.).

Если сравнительно быстрые разрушительные изменения окружающей среды обусловлены деятельностью человека или созданных им технических устройств и производств, то катастрофа называется техногенной. Техногенную катастрофу называют также аварией. Как правило, авария возникает вследствие нарушения регламента работы оборудования или норм его эксплуатации.

В России имеется государственный стандарт [8], согласно которому под аварией понимается: "Опасное техническое происшествие, создающее на объекте определенной территории или аварийную угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, а также и нанесению ущерба окружающей среде".

По аналогии со стандартом [8] под природной чрезвычайной ситуацией будем понимать состояние окружающей среды, при котором на определенной территории Земли нарушаются нормальные термодинамические условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу людей и самой окружающей среде. Иными словами, при такой ситуации возникает опасность саморазрушения окружающей среды.

Источниками природной чрезвычайной ситуации являются те части пространства Земли, где происходят природные катастрофы (землетрясения, удар метеорита о поверхность Земли, снежная лавина, наводнение и др.).

Поражающими факторами природной катастрофы являются конкретные составляющие резкого изменения (отклонения) параметров состояния окружающей среды (температуры, давления, концентраций компонентов в атмосфере, концентрации токсинов и бактерий в воздухе и почве) от нормальных (равновесных) значений.

Поражающим воздействием природной опасности будем называть негативное влияние одного или совокупности поражающих факторов на нормальное существование людей, животных и растений, которое при превышении определенных пороговых значений этих факторов приводит к их гибели.

В настоящее время в мире известны следующие виды природной опасности [9–12]:

- 1) сейсмическая опасность (опасность землетрясений);
- 2) космическая или метеорная опасность;
- 3) лесная пожарная опасность;
- 4) опасность схода снежных лавин в горах;
- 5) опасность наводнений на равнинах при разливе рек;
- 6) опасность появления ураганов и смерчей на суше и море;

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 99–01–00363), а также программы "Интеграция", проект "Академический университет".

- 7) засуха;
- 8) гигантские морские волны (цунами);
- 9) мощные грозовые разряды в атмосфере;
- 10) магнитные бури;

Поэтому актуальны исследования этих видов природных катастроф.

По своим масштабам катастрофы, следуя [13], можно разбить на три группы:

- 1) локальные катастрофы;
- 2) региональные катастрофы;
- 3) глобальные катастрофы.

При локальной катастрофе количество выделившейся энергии $E \leq 15 \text{ Кт}$, что достаточно для разрушения промышленного объекта и гибели людей на территории промышленной площадки.

При региональной катастрофе величина E меняется в пределах $20 \text{ Кт} < E < 100 \text{ Мт}$, а экологические последствия сказываются на жизни людей, расположенных на десятки и сотни километров от места катастрофы. К региональным катастрофам можно отнести аварию на Чернобыльской АЭС. В результате нее только в Белоруссии радионуклидами заражено 1.7 млн. га леса.

Глобальная катастрофа наступает при $E \geq 100 \text{ Мт}$. При взрыве ядерного заряда такой мощности возникает сначала “ядерная” ночь, а затем “ядерная” зима [14–15]. Как показывают оценки аналогичный эффект получается при столкновении Земли с астероидом, имеющим диаметр $d \geq 1 \text{ км}$ [16].

2. Механизм катастроф и их математическое моделирование

Основные принципы и результаты математического моделирования различных катастроф представлены в [4–7]. Процесс развития любой катастрофы имеет три стадии [4–7]:

- 1) период индукции;
- 2) быстрое выделение энергии (упругой, ядерной, тепловой и др.) и ее трансформация в другие виды энергии;
- 3) диссипация выделившейся энергии в окружающей среде.

Под периодом индукции понимается время накопления разрушительной энергии. При землетрясениях это время, в течении которого накапливается упругая энергия деформации земной коры, при атмосферных смерчах – это время от начала грозы до образования воронки, а при столкновительной катастрофе – это время от момента обнаружения астероида–убийцы до его столкновения с Землей. Сам термин – период индукции своим происхождением обязан теории теплового взрыва (самовоспламенение) развитой Н.Н. Семеновым, О.М. Тодесом и Д.А. Франк–Каменецким [17]. Тепловой взрыв – типичное катастрофическое явление, которое имеет место как в природе (взрыв вулкана), так и в технике (например, самовозгорание угля в терриконах). В дальнейшем была развита теория теплового зажигания и горения [17], на основе которой [10] дано объяснение механизма возникновения и распространения лесных пожаров.

В общем случае любая катастрофа происходит из–за нарушения равновесного протекания природных или техногенных процессов.

Наиболее полно исследована физика и экологические последствия ядерного взрыва. В монографии [18] дано обобщение результатов многолетних исследований этой проблемы в СССР и России.

Надо сказать, что любая глобальная катастрофа имеет каскадный механизм развития, то есть она на разных этапах развития включает в себя множество локальных и региональных катастроф, в том числе и массовых лесных пожаров [4–7]. Между ними могут быть определенные временные паузы. В итоге после серии катастроф на последнем (третьем) этапе устанавливается новое термодинамическое равновесие на планете Земля.

Механизм катастроф тесно связаны с тепло– и массопереносом. Например, при “столкновительной” катастрофе часть кинетической энергии движущегося опасного космического объекта высвечивается и падает на подстилающую поверхность, в результате чего, как показано в [19], зоны зажигания лесных массивов в окрестности эпицентра взрыва имеют форму эллипсов, большие оси которых совпадают с направлением движения Тунгусского метеорита. Только благодаря корректному учету сложного радиационно–конвективного теплообмена в [19] удалось предложить достаточно точную математическую модель для прогноза некоторых экологических последствий падения опасных космических объектов [19]. Процессы тепло– и массообмена играют большую роль на всех стадиях развития различных катастроф, но в особенности велика роль этих процессов в установлении нового термодинамического равновесия.

В настоящее время для прогноза экологических последствий катастроф широко применяется метод математического моделирования с использованием электронных вычислительных машин. При этом используются следующие типы математических моделей катастроф [4–7]:

- 1) детерминированные;
- 2) вероятностные;
- 3) смешанные (детерминированно–вероятностные);

4) имитационные.

Наиболее эффективным инструментом познания катастроф являются детерминированные математические модели. Для решения задач теории катастроф с использованием этих моделей, как правило, используются известные численные методы механики сплошных сред [20, 21].

В ряде случаев при математическом моделировании катастроф приходится использовать математические модели для описания разнородных сред и явлений, которые охватывают почти все разделы современной физики. Эти модели приходится использовать в разных частях пространства в одно и то же время. Для этого необходимо использовать граничные условия, которые выражают законы сохранения массы, количества движения и энергии на границах раздела сред и не противоречит второму закону термодинамики. Впервые подобные условия (граничные условия четвертого рода или условия сопряжения) в рамках теории конвективного теплообмена были предложены академиком А.В. Лыковым с сотрудниками [22] для решения конкретной задачи конвективного теплообмена дозвукового потока с твердым телом. Они являются условиями непрерывности температур и сохранения тепловой энергии на границе раздела инертного потока и инертного твердого тела. В дальнейшем эти условия были распространены на решение задач теории зажигания, а затем и теории термохимического разрушения тел в гиперзвуковом потоке газа [23]. Особенностью сопряженных граничных условий [22,23] является то, что они не противоречат второму закону термодинамики, в то время как необоснованное использование граничных условий третьего рода приводит к отрицательности коэффициента теплообмена и нарушению этого закона.

3. Прогноз некоторых катастроф

Следуя [24], под прогнозом катастрофы будем понимать научно–обоснованное заключение о месте, времени и последствиях катастрофы с указанием достоверности этого события.

Под достоверностью прогноза понимается оценка вероятности возникновения и экологических последствий катастрофы для заданного временного интервала. Помимо этого термина часто используется понятие «период упреждения прогноза», под которым понимается промежуток времени между моментом публикации прогноза и моментом возникновения катастрофы. Очевидно, что чем больше период упреждения, тем больше времени для проведения организационных мероприятий, призванных уменьшить негативные экологические последствия катастрофы. Кроме того, часто говорят о точности прогноза. Этот термин, как правило, употребляют для оценки погрешности прогноза экологических последствий катастроф. Чем выше точность, тем меньше погрешность прогнозируемых параметров состояния среды, например, полей температуры, влагосодержания, концентраций компонентов, в том числе и радиоактивных.

Представляет интерес получение формул для определения вероятностей некоторых катастроф, с помощью детерминированно–вероятностной методики, предложенной в [4–7]. Суть этой методики заключается в том, что вначале создается упрощенная физическая модель явления – совокупность причинно–следственных связей, объясняющих суть явления и последовательность событий в нем, а затем используются элементы теории вероятностей [25].

Следуя [4,7] определим вероятность возникновения “столкновительной зимы”. Краткое описание механизма этой глобальной природной катастрофы на основе первоисточников дано в [4–7]. Схема возникновения глобальной «столкновительной» зимы (физическая модель явления) представлена на рис. 1.

Используя теоремы умножения и сложения вероятностей для зависимых и независимых событий в [4–7], получено следующее выражение для вероятности “столкновительной зимы”:

$$\begin{aligned}
 P(A_1, A_2, \dots, A_9) = & P(A_1)P(A_2/A_1) P(A_3/A_1 A_2) P(A_4/A_1 A_2 A_3) \times \\
 & \times P(A_5/A_1 A_2 A_3 A_4) P(A_6/A_1 A_2 A_3 A_4 A_5) P(A_7/A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6) \times \\
 & \times P(A_9/A_1 A_2 \dots A_7) + P(A_1) P(A_8/A_1)P(A_9/A_1 A_8).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь $A_1 \dots A_9$ – обозначение отдельных этапов сложного события – столкновения астероида с Землей (см. рис. 1); $P(A_1)$ – вероятность осуществления первого события; $P(A_2/A_1)$ – вероятность реализации второго события при условии, что первое событие состоялось; $P(A_3/A_1 A_2)$ – вероятность осуществления третьего события, если произошли события A_1 и A_2 и $P(A_4/A_1 A_2 A_3)$ – вероятность реализации четвертого события, если осуществились три предыдущих события и т.д.

Аналогичным образом в [4–7] были получены формулы для вероятности образования огненного смерча, возникновения лесного пожара и наступления «ядерной» зимы.

На основании анализа результатов [4,7] можно сделать следующие важные выводы:

1. Чем больше независимых стадий реализуется при катастрофе, тем больше вероятность ее осуществления.

2. Наоборот, чем больше зависимых стадий реализуется при катастрофе, тем меньше вероятность ее реализации.



Рис.1. Эстафетный механизм развития "столкновительной" катастрофы:
 A_1, A_2, \dots, A_9 – обозначения этапов развития глобальной катастрофы.

4. Эколого–математический мониторинг потенциально опасных объектов

Известно, что при создании любых производств и крупных промышленных объектов создается комплект проектной документации, который можно рассматривать как статическую модель динамического процесса эксплуатации этого объекта.

На основе этой модели и ряда спорных допущений [26] даются вероятностные оценки рисков (ВОР) и вырабатывается вероятностный критерий безопасности (ВКБ). Однако в связи со старением оборудования, изменением социально–экономической обстановки и воздействием природных катастроф могут возникать непредусмотренные проектом нештатные ситуации, которые могут приводить к крупным авариям, примером которой может служить авария на Чернобыльской АЭС. Другим примером может служить негативное влияние крупного лесного пожара в окрестности г. Лос–Аламоса (США), который имел место с 5.05.00 по 6.06.00 г. на функционировании Лос–Аламосской национальной лаборатории. Поэтому необходимо осуществлять

непрерывный эколого–математический мониторинг потенциально опасных объектов с учетом изменений в окружающей среде и обществе.

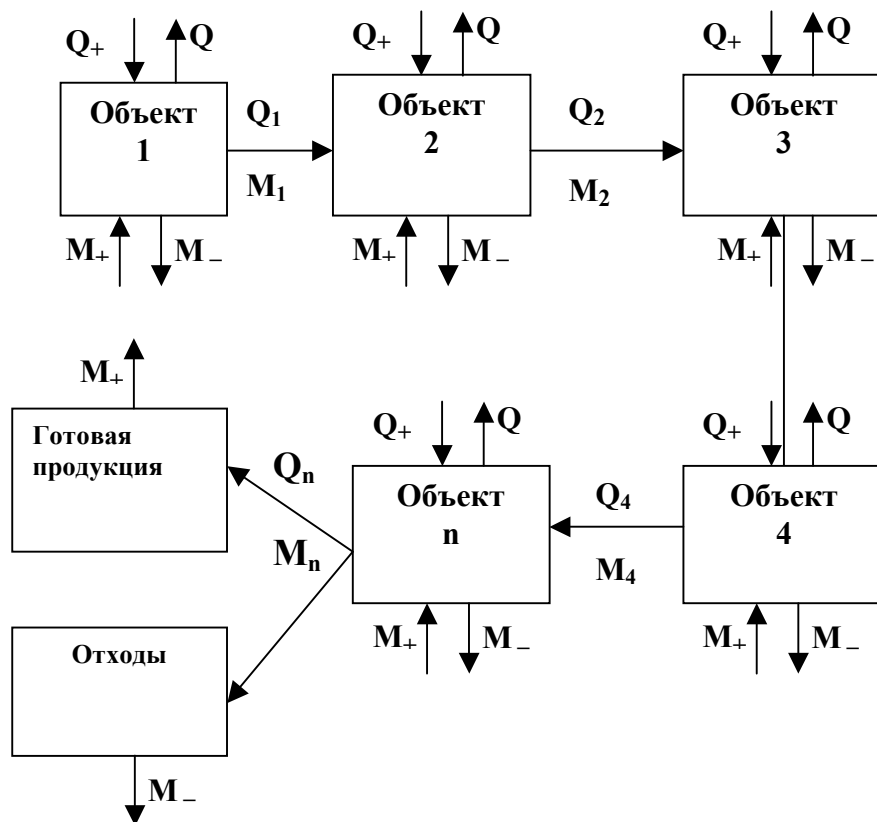


Рис. 2. Структурная схема функционирования потенциально опасного объекта с учетом непрерывного сопряженного тепло– и массообмена объектов технологической цепочки друг с другом и с окружающей средой: 1,2,3,..., – номера объектов производственной цепочки; знаками Q_+ и Q_- обозначены поступления теплоты (энергии) из окружающей среды и выбросы теплоты (энергии) в окружающую среду; Q_i , M_i – обозначают передачу энергии и массы по технологической цепочке.

В связи с этим предлагается следующий алгоритм такого мониторинга [6]:

1. Системное определение границ изучаемого региона. Обобщение данных о потенциально опасных объектах на основе проектной документации, изменений в обществе и окружающей среде.
2. Определение списка опасностей каждой из природных катастроф и каждого вида человеческой деятельности и создание детерминированных физических моделей опасных процессов и объектов.
3. Ранжирование потенциально опасных объектов и создание математических моделей их функционирования с использованием проектной документации потенциально опасных производств в качестве начальных условий и законов сохранения массы, энергии и количества движения.
4. Оценка опасностей для населения при нормальном функционировании производств, в том числе: анализ и оценка риска крупных аварий; анализ и оценка риска токсичных выбросов; анализ и оценка риска взрывов и пожаров (в том числе лесных).
5. Комплексная оценка прогноза опасности функционирования потенциально опасного объекта с учетом особенностей технологии производства, старения оборудования, изменения метеорологических условий и природных катастроф.
6. Создание методики расчета эколого–экономического ущерба от аварии или природной катастрофы.

Для математического моделирования поведения потенциально опасных объектов необходимо рассматривать технологические процессы и процессы тепло– и массообмена различных производств этого объекта в контрольном объеме окружающей среды, который вмещает потенциально опасный объект, приземный слой атмосферы и часть земной коры.

Должна быть создана общая детерминированно–вероятностная физико–математическая модель функционирования потенциально опасного объекта, которая учитывает все известные причинно–следственные связи, диктуемые законами физики и химии, а также стохастичность некоторых процессов тепло– и массообмена и социально–экономических условий.

Очевидно, что для математического моделирования функционирования потенциально–опасного объекта также необходимо использовать метод распараллеливания вычислительных операций и комплексные детерминированно–вероятностные модели.

Это позволит оценить как вероятность возникновения аварии, так и негативные последствия катастрофы задолго до ее реализации, что даст возможность либо предотвратить катастрофу, либо существенно уменьшить ущерб от ее экологических последствий.

Список литературы.

- [1] Окружающая среда: Энциклопедический словарь–справочник // Под ред. Гончаровой Е.М. Москва: Пангея. 1993. 639 с.
- [2] Новый иллюстрированный академический словарь // Под ред. Горкина А.П. Москва: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия». 1999. 911 с.
- [3] Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь – справочник // Москва: «Мысль». 1990. 639 с.
- [4] Гришин А.М. Катастрофы: оценка вероятности возникновения, эстафетный механизм развития и экологические последствия // Сопряженные задачи механики и экологии (Материалы междунар. конф.). Томск: Изд–во Томского гос. ун–та. 1996. С. 62–71.
- [5] Гришин А.М. Моделирование и прогноз катастроф // Сб. докл. 5–ой научно–техн. конф. Сибирского химического комбината, посвященной 50–летию комбината (пленарные доклады). Северск: Сибирский химический комбинат. Научно–исследовательский и конструкторский институт. 1999. С. 85–120.
- [6] Гришин А.М. Моделирование и прогноз техногенных и экологических катастроф // Математическое и физическое моделирование сопряженных задач механики реагирующих сред и экологии: Избр. докл. междунар. конф. Томск: Изд–во ТГУ, 2000. С.64–87.
- [7] Гришин А.М. Моделирование и прогноз экологических катастроф // Экологические системы и приборы. 2001. №2. С.12–21.
- [8] Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. Издание официальное // Москва: Госстандарт России. 1995. 12 с.
- [9] Коробейников В.П. Математическое моделирование нестационарных явлений природы // Москва: Знание. 1986. 47 с.
- [10] Mathematical modeling of forest fire and new methods of fighting them // Ed. Frank Albini. Publishing House of the Tomsk State University. 1997. 390 p.
- [11] Белолипецкий В.М., Шокин Ю.И. Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды // Новосибирск: Изд–во ИНФОЛИО–пресс. 1997. 240 с.
- [12] Григорян С.С. Современное состояние механики природных процессов // Сопряженные задачи механики и экологии (Материалы междунар. конф.) Томск: Изд–во Томского гос. ун–та. 2000. С.68–69.
- [13] Булатов В.И., Чирков В.А. Томская авария: Мог ли быть Сибирский Чернобыль? // Новосибирск: Издательство ЦЭРИС. 1994. 32с.
- [14] Климатические и биологические последствия ядерной войны // Под ред. Велихова Е.П. Москва: Наука. 1987. 287 с.
- [15] Питток Б., Акерман Т., Крутцен П., Мак–Кракен М., Шапиро Ч., Турко Р. Последствия ядерной войны. Физические и атмосферные эффекты // Москва: Мир. 1988. 392 с.
- [16] Teller E. Comments on possible collision of asteroids and comets with Earth // Тез. докл., ч. 2, Междунар. конф. «Проблемы защиты Земли от столкновения с опасными космическими объектами», 26–30 сентября 1994 года, Снежинск, Челябинской области: Российской Федеральный ядерный Центр. С. 34–37.
- [17] Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.И. Математическая теория горения и взрыва // Москва: Наука. 1980. 478 с.
- [18] Лоборев В.М., Замышляев Б.В., Маслин Е.П., Шиловцев Б.А. и др. Физика ядерного взрыва. Том 1,2. Развитие взрыва // Москва: Наука. 1997. 526 с.
- [19] Гришин А.М., Ефимов К.Н., Перминов В.А. Зажигание лесных массивов в результате космических и техногенных катастроф // Новосибирск: Изд–во РАН, ФГВ. 1996. Т. 32, № 5. С.116–124.
- [20] Яненко Н.Н. Избранные труды «Математика, механика» // Москва: Наука. 1991. 416 с.
- [21] Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред // Москва: Издательская фирма «Физико–математическая литература», 199. 442 с.
- [22] Лыков А.В. Теплообмен // Москва: Энергия. 1978. 479 с
- [23] Гришин А.М., Фомин В.М. Нестационарные и сопряженные задачи механики реагирующих сред // Новосибирск: Наука. 1984. 316 с.
- [24] Прогностика (терминология) // Москва: Наука. 1990. 56 с.
- [25] Смирнов Н.В., Дунин–Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений // Москва: Наука. 1969. 511 с.
- [26] Лохбаум Д. Исследование рисков на атомных электростанциях: удручающее качество // Энергетика и безопасность. 2000. №15. С.10–14.