

в виде системы массового обслуживания, найдено распределение двумерного процесса числа застрахованных в компании рисков и числа требований на выплату страховых сумм, найдены выражения для характеристик исследуемых процессов, а также выражение для коэффициента корреляции. Показано, что полученные результаты являются обобщением частных случаев.

Литература

1. Глухова Е.В., Змеев О.А., Лившиц К.И. Математические модели страхования. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. 180 с.
2. Ахмедова Д.Д., Терпугов А.Ф. Математическая модель страховой компании с учетом расходов на рекламу // Известия вузов, Физика. 2001. № 1. С. 25-29.
3. Глухова, Е.В., Капустин Е.В. Расчет вероятности разорения страховой компании с учетом перестраховки // Изв. вузов, Физика. 2000. № 4. С. 3-9.
4. Назаров А.А., Даммер Д.Д. Исследование числа требований на страховые выплаты в компании с произвольной величиной продолжительности договора // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 2 (15). С. 24-32.
5. Даммер Д.Д., Назаров А.А. Исследование математической модели страховой компании в виде бесконечнолинейной системы массового обслуживания методом асимптотического анализа: материалы VII Ферганской конференции Предельные теоремы и их приложения г. Наманган. 2015. С. 191-196.
6. Dammer D.D. Research of mathematical model of insurance company in the form of queuing system with unlimited number of devices considering implicit advertising // Information Technologies and Mathematical Modeling. Springer, 2015. Vol. 564. P. 163-175.
7. Назаров А.А., Терпугов А.Ф. Теория массового обслуживания. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. 228 с.
8. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. Москва: Наука, 1969. 424 с.

Research of process of insurance payments with limited insurance coverage

Dammer Diana Damirovna, PhD, Associate Professor

This paper is devoted to the research of the model of insurance company with a limited insurance coverage in the form of queueing system with an unlimited number of servers. Using method of characteristic functions we got two-dimensional probability distribution of a number of risks that are insured in the company and a number of demands for insurance payment.

Keywords – mathematical model, insurance company, insurance payments, queueing system, characteristic function.

УДК 51.7+551.2+316.4

О МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ГЕОСОЦИАЛЬНОГО ПРОЦЕССА

*Анна Андреевна Долгая, научный сотрудник
Тел. 8 962 216 08 58, E-mail: adolgaya@kscnet.ru
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
www.kscnet.ru/ivs*

*Кирилл Александрович Фереферов, магистрант
Тел. 8 914 020 36 93, E-mail: tabris23@yandex.ru
Дальневосточный федеральный университет
www.dvfu.ru*

*Александр Васильевич Викулин, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник
Тел. 8 914 781 55 09, E-mail: vik@kscnet.ru
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
www.kscnet.ru/ivs*

В работе приводятся результаты моделирования закономерностей природных катастроф и социальных явлений, полученные на основании созданной авторами базы данных. С помощью специально разработанной информационно-вычислительной системы выявлены свойства группировки и цикличности катастрофических событий. Предложена концепция геосоциального процесса.

Ключевые слова: природные катастрофы, социальные явления, распределения с тяжёлыми хвостами, Фурье-анализ, базы данных.

*Работа выполнена при поддержке гранта
РФФИ № 16-37-00229*

Достижения последних лет убедительно доказывают, что наша планета является очень сложной системой, «живым организмом» [1;2], в котором все процессы, согласно принципу Аристотеля–Лейбница–Маха о неразрывном единстве физического и духовного мира, взаимосвязаны [3], и такая взаимосвязь и геофизически [2] и социально [4] обоснована.

Одинаковую мощь природных катастроф и глобальных социальных явлений отмечал В.И. Вернадский. Большой объем накопленных по природным катастрофам и социальным явлениям последних 36 веков истории человечества данных [1] и первые результаты их анализа [5] позволили поставить задачу исследования природных катастроф и социальных явлений в совокупности как взаимосвязанных событий, отражающих закономерности единого геосоциального процесса [5].



А.А. Долгая



К.А. Фереферов

1. Исходные данные

Для проведения исследования авторами на основании литературных данных был собран большой статистический материал [1], включающий в себя данные о сильных природных катастрофах и значимых социальных явлениях. Составленный список включает в себя 2395 событий, произошедших на планете в течение последних 36 веков истории человечества.

Классификация событий

В целях дальнейшего анализа была проведена классификация всей совокупности данных по двум параметрам: по типу и интегральной характеристике, описывающей «силу» события, то есть масштаб его последствий.

Все события разделены на следующие виды:

- природные катастрофы: землетрясения, извержения вулканов, ураганы, наводнения, засухи, пожары природные и климатические аномалии;
- социальные явления: войны, битвы, революции, восстания, геноцид, эпидемии, пандемии и пожары социальные, по вине человека.

Также были выделены другие природные и социальные события, которые не удалось классифицировать по перечисленным выше видам.



А.В. Викулин

Для построения шкалы «силы» катастрофических событий необходимо было выбрать параметры, единым образом характеризующие и природные катастрофы, и социальные явления (которые в дальнейшем будем называть катастрофами). В этих целях было решено использовать социально значимые параметры в виде материальных потерь Q , выраженных в долларах США, и количества унесенных человеческих жизней P . Для определения силы была введена величина J , описывающая балл события, причем максимальная «сила» события соответствует $J = I$, а минимальная, рассматриваемая в данной работе, – $J = III$.

Такого типа логарифмическая шкала (J) была предложена М.В. Родкиным и Н.В. Шебалиным для классификации землетрясений [6]. Эта шкала авторами была модифицирована в соответствии с выявленными демографическими особенностями развития человечества [7] и изменением со временем курса валюты [1] и использована для классификации катастроф [5]. Параметры шкалы для классификации интенсивности воздействия катастрофических событий приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Шкала классификации природных катастроф и социальных явлений по материальным Q (\$) потерям и количеству человеческих жизней P (чел.) в течение пяти исторических эпох

Интервал (годы)	Баллы, J					
	$J = III$		$J = II$		$J = I$	
	P	Q	P	Q	P	Q
1995–2014	15 тыс. – 1.5 млн.	1.4 млрд. – 150 млрд.	1.5 млн. – 150 млн.	140 млрд. – 15 трилл.	150 млн. – 15 млрд.	15 трилл. – $1.5 \cdot 10^{13}$
1871–1994	3001 – 300 тыс.	14 млн. – 1.4 млрд.	301 тыс. – 30 млн.	1.4 млрд. – 150 млрд.	31 млн. – 3 млрд.	151 млрд. – 15 трилл.
1531–1870	601 – 60 тыс.	400 тыс. – 45 млн	61 тыс. – 6 млн.	46 млн. – 5 млрд.	6.1 млн. – 600 млн.	5.1 млрд. – 500 млрд.
531–1530	301– 30 тыс.	40 тыс. – 4.5 млн.	31 тыс. – 3 млн.	4.6 млн. – 500 млн.	3.1 млн. – 300 млн.	501 млн. – 50 млрд.
2000 г. до н.э. – 530 г. н.э.	151 – 15 тыс.	13 тыс. – 2 млн.	16 тыс. – 1.5 млн.	2.1 млн. – 170 млн.	1.6 млн – 150 млн.	171 млн. – 18 млрд.

После классификации всех событий по типам и присвоению каждому события балла J авторами было найдено количество событий, попадающих в классификационные группировки. Результаты классификации приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Числа N_I , N_{II} , N_{III} и N_{Σ} , содержащихся в авторском списке природных и социальных катастроф с баллами $J = I, II, III$ и всех в совокупности, соответственно

Вид события	N_I	N_{II}	N_{III}	N_{Σ}
1. Землетрясения	16	110	407	533
2. Извержения вулканов	1	5	47	53
3. Ураганы, наводнения	12	53	283	348
4. Засухи, пожары природные	8	30	56	94
5. Климатические аномалии	3	19	36	58
<i>Природные</i>	<i>40</i>	<i>217</i>	<i>829</i>	<i>1086</i>
6. Войны, битвы	27	154	522	703
7. Революции, восстания	2	19	38	59
8. Геноцид	4	16	11	31
9. Эпидемии, пандемии	13	77	179	169
10. Пожары социальные	3	10	104	117
<i>Социальные</i>	<i>49</i>	<i>276</i>	<i>764</i>	<i>1079</i>
11. Другие события	18	44	68	130
<i>Все события</i>	<i>107</i>	<i>537</i>	<i>1751</i>	<i>2395</i>

2. Методы исследования

Метод наименьших квадратов

Для построения графика повторяемости катастрофических событий была использована модель линейной регрессии в виде уравнения $y = ax + b$.

Для нахождения по способу наименьших квадратов уравнения искомой прямой поступают следующим образом [8]: проводят ординаты точек y_i до их пересечения с искомой прямой. Значение этих ординат будет $(ax_i + b)$, расстояние по ординате от точки y_i до прямой равно $ax_i + b - y_i$. Предположим, что прямая будет наилучшей, если сумма квадратов всех расстояний $(ax_i + b - y_i)^2$ имеет наименьшее значение. Минимум этой суммы ищется по правилам дифференциального исчисления. В результате для определения a и b получаются уравнения:

$$a = \frac{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{1} - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{1} \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{1}}{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2}{1} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{1}\right)^2}, \quad (1)$$

$$b = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{1} \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{1} - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{1} \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{1}}{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2}{1} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{1}\right)^2}, \quad (2)$$

где n – число событий. Суммирование производится по всем точкам.

Метод спектрального анализа

Метод Фурье-анализа (спектрального анализа) временных рядов заключается в решении задачи линейной множественной регрессии с помощью преобразований Фурье. Такая модель может быть записана как:

$$x_t = a_0 + \sum [a_i \cos(\omega_i t) + b_i \sin(\omega_i t)], \quad (\text{для } i = 1, \dots, n).$$

После разложения функции на сумму функций синусов и косинусов строится периодограмма. Значения периодограммы вычисляются по формуле:

$$P_i = \frac{N}{2} (a_i^2 + b_i^2),$$

где P_i – амплитуда периодограммы на частоте ν_i , и N – общее число разбиений периодограммы (общая длина ряда). Значения периодограммы можно интерпретировать как дисперсию (вариацию) данных на соответствующей частоте.

Для дальнейшего анализа из всего перечня выявленных периодов выбираются значения периодов, соответствующие локальным максимумам на периодограммах.

При проведении исследований для оценки «устойчивости» выявленных периодов исходные выборки событий изменялись по энергетической характеристике (J), временному интервалу и масштабу усреднения. Все полученные значения периодов затем группировались и наносились на частотную диаграмму. Значимыми признавались периоды, соответствующие локальным максимумам на итоговой диаграмме.

Моделирование временных рядов катастрофических событий

Для анализа структуры и временных закономерностей совокупностей катастрофических событий временные ряды моделировались с помощью известных законов

распределения.

Исследование проводилось в несколько этапов:

- 1) Формирование выборки событий заданного типа, «силы» и периода времени.
- 2) Формирование упорядоченной по возрастанию экспериментальной последовательности значений временных интервалов между двумя соседними событиями.
- 3) Построение теоретической последовательности. В качестве теоретических законов распределения использовались законы распределения Парето и Вейбулла (Вейбулла-Гнеденко).

Закон распределения Парето является степенным распределением, плотность вероятности задается формулой¹:

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{kx_m^k}{x^{k+1}}, & x \geq x_m \\ 0, & x < x_m \end{cases},$$

где x_m – параметр масштаба, k – второй параметр распределения.

Закон распределения Вейбулла-Гнеденко является обобщенным случаем экспоненциально распределения, его плотность вероятности описывается формулой¹:

$$f_X(x) = \begin{cases} \lambda_0 k(x)^{k-1} e^{-\lambda_0 x^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases},$$

где λ_0 – параметр масштаба, k – параметр формы.

- 4) Сравнение теоретической и экспериментальной последовательности с помощью критерия согласия Пирсона χ^2 :

$$\chi^2 = n \sum_i \frac{(n_i / n - P_i)^2}{P_i},$$

где n – общее количество событий в выборке, n_i – количество событий, попадающих в i -ую группу, P_i – теоретически рассчитанное значение для i -й группы.

3. Структура информационно-вычислительной системы

Для организации эффективного хранения и управления собранным массивом сведений о природных катастрофах и социальных явлениях авторами была создана реляционная база данных, включающая всю имеющуюся у авторского коллектива информацию о катастрофах. Для каждого события в базе указаны год (и дата, если есть), тип согласно классификации, место, балл J, краткое описание по литературным данным и ссылка на источник.

Для работы с электронным списком событий авторами была разработана информационно-вычислительная система NaSCA (Natural and Social Catastrophes Analysis) [9]. С помощью данной системы пользователь может просматривать, добавлять, фильтровать и сортировать данные, а также осуществлять экспорт результатов поиска в Excel, строить график повторяемости методом наименьших квадратов и проводить исследование периодичности (цикличности) с помощью Фурье-анализа.

Разработанная база данных катастроф и информационно-вычислительная система позволяют применять для обработки и анализа для всего массива накопленных данных о природных катаклизмах и социальных явлениях современные информационные технологии.

4. Обсуждение результатов

График повторяемости катастроф

¹ Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: Учебник. Москва: Финансы и Статистика, 2002. 480 с.

По данным табл. 2 методом наименьших квадратов по формулам (1) и (2) построен график повторяемости катастроф по всем данным за 36 веков (рисунок, а) и за период 1870-1994 гг. (рисунок, б). Данные за период конец XIX в. – XX в., по-видимому, можно считать достаточно представительными, так как практически все катастрофы с $J = I, II$ и III за этот интервал времени содержатся в базе данных без пропусков.

Из данных, представленных на рисунке, видно, что угол наклона графика повторяемости катастроф, определенный в интервале баллов $III \leq J \leq I$, равен $\Delta \lg N / \Delta J = -0.6$.

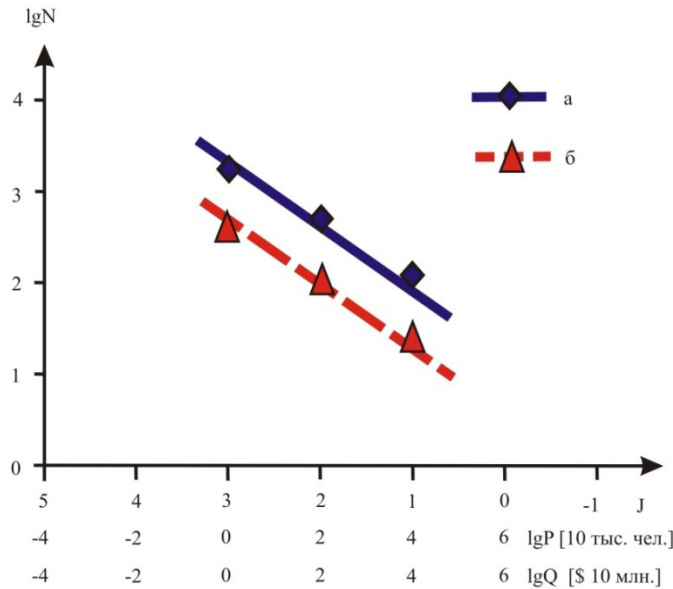


Рисунок. График повторяемости катастроф, построенный по данным за последние 36 веков (а) и за 1870–1994 гг. (б)

спектрального анализа временных рядов.

Исследование показало, что для обеих совокупностей катастроф выявляются две группы периодов: «короткие», длительностью 50 ± 10 и 150 ± 20 лет, и «длинные», с протяженностями в диапазоне $210 \div 1650$ лет. В том числе, выделяются периоды 210 ± 20 , 500 ± 50 и $1000 (850 \div 1100) \pm 100$ лет.

Полученные данные позволяют сформулировать вывод о существовании глобальной цикличности в распределении чисел природных катастроф и социальных явлений и подтверждают и данные о цикличности событий с периодом 200-300 лет, полученными ранее на основании менее представительных данных [5], и, очевидно, данными С.М. Мягкова о существовании 500-летней периодичности природных катастроф [10]. Цикличность с периодом около 1000 лет выявляется и в данных о числе погибших при землетрясениях Восточного Присреднеземноморья и Среднего Востока с V в. до н.э. до настоящего времени [11].

Качественный анализ периодичности катастроф отдельно взятых природных (землетрясения, извержения вулканов, наводнения) и социальных (войны, эпидемии, геноцид) типов позволяет для всех совокупностей выделить общий период 260 ± 50 лет.

Группируемость катастроф

Исследовались статистики ближайших временных интервалов между сильными ($J = I + II$) событиями в наибольших по представительности выборках для землетрясений (515 до н.э. – 2011 гг., $N = 126$), войн (538 до н.э. – 2003 гг., $N = 177$) и всех событий совокупности (492 до н.э. – 2014 гг., $N = 622$). Анализ структуры полученных ря-

Из данных табл. 2 видно, что природные и социальные катастрофы в списке представлены примерно поровну: $N_{пр} = 1086$, $N_{соц} = 1079$. Другими словами, обе эти совокупности могут рассматриваться как одинаково и значимые, и представительные с позиций «живой» и «неживой» природы процессы, описываемые логарифмическим законом распределения с углом «наклона» равным -0.6.

Цикличность природных и социальных катастроф

Исследование цикличности проводилось с помощью модуля разработанной авторами информационно-вычислительной системы [9], автоматизирующего метод

дов данных позволил выдвинуть предположение о том, что катастрофы имеют тенденцию группироваться на малых временных интервалах, так как для каждой из этих выборок более трети всех интервалов располагаются в достаточно узком диапазоне, продолжительность которого много меньше соответствующих средних временных интервалов.

Для проверки этого предположения статистики временных интервалов между ближайшими природными (на примере землетрясений) и социальными (на примере войн) «сильными» ($J = I + II$) катастрофами моделировались распределением Вейбулла-Гнеденко. Выборки землетрясений и войн, каждая в отдельности, и всех событий в совокупности с достоверностью не хуже $\alpha = 0.19$ (с вероятностью $q = 1 - \alpha > 0.81$) оказалось возможным описать распределениями Вейбулла-Гнеденко с параметрами формы $p < 1$, что можно рассматривать как доказательство эффекта группирования и природных, и социальных, и всех катастроф в совокупности на малых временах.

Взаимодействие между природными и социальными катастрофами

Степенное распределение Парето, как и распределение Вейбулла-Гнеденко, относится к классу распределений с «тяжелыми хвостами» [12]. Степенной характер определяет распределение Парето, как более чувствительное распределение, по сравнению с распределением Вейбулла-Гнеденко, по отношению к тяжелой «длиннохвостовой» части. Поэтому можно ожидать, что распределения, соответствующие «более короткопериодным» природным и «более длиннопериодным» социальным катастрофам, будут по разному описываться распределением Парето.

Описанные выше выборки землетрясений, войн и всех событий в совокупности, моделировались распределением Парето. Оказалось, что все три выборки соответствуют распределению Парето с разной достоверностью α . Проверка значений достоверности α (вероятности q) на устойчивость путем «деформации» выборок за счет незначительного изменения в них чисел событий показала следующее. Значения α (q) для выборок «войны» и «все события» изменяются в достаточно малых пределах $\alpha = 0.04 \div 0.17$ ($q = 0.83 \div 0.96$) и $\alpha = 0.99 \div 0.999$ ($q = 0.001 \div 0.01$), соответственно, являясь «устойчивыми» к «малым деформациям» исходных выборок. В то же время выборки «землетрясения», скорее, являются неустойчивыми, поскольку построить соответствующие распределения Парето не всегда представлялось возможным вследствие значения параметра формы $k < 0$.

Геосоциальный процесс

Все события в совокупности можно рассматривать как систему, состоящую из двух подсистем – природных и социальных катастроф. Наличие у такой системы в целом и каждой из подсистем в отдельности тождественных свойств (одинаковые наклоны графиков повторяемости катастроф, близкие периоды цикличности и группирование на малых временных интервалах) с одной стороны, характеризует обе подсистемы как независимые. С другой – невозможность моделирования всей системы в совокупности и каждой из ее подсистем, в отдельности, распределением Парето позволяет предположить наличие у системы таких свойств, которые не могут быть выражены через свойства каждой из подсистем. Такое свойство в теории системного анализа называется эмерджентностью и оно, по сути, определяет «природу системы»².

Свойство эмерджентности в данном случае отражает специфический эффект взаимодействия природных и социальных катастроф между собой. Свойство независимости подсистем, их аддитивность относительно распределения Вейбулла-Гнеденко в данном случае следует понимать в смысле их статистической независимости.

² Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем): Учебник. Томск: Изд-во ТГУ, 2004. 186 с.

Таким образом, проведенный анализ показал, что в составленном авторами списке событий взвешенные по единой логарифмической шкале природные и социальные катастрофы в совокупности следует рассматривать как единый циклический геосоциальный процесс, отражающий взаимодействие Природы и Социума.

Заключение

Авторы считают, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты:

1. Составлен единый список взвешенных по величине сильных природных и социальных катастроф за последние 36 веков истории человечества.
2. Установлены свойства повторяемости, цикличности, группируемости, наклон графика повторяемости катастроф, взаимодействие природных и социальных явлений между собой.
3. Такие свойства всей совокупности катастроф позволили сформулировать и поставить проблему единого геосоциального процесса и начать его моделирование.

Множество стран нашей планеты объединились в одно информационное поле с целью обсуждения, анализа и оперативного реагирования на последствия глобальных катастроф [13], что показывает: база с целью исследования таких важных для цивилизации природных и социальных явлений и медико-геологических региональных условий на современном уровне, фактически, уже заложена. Без проведения комплекса геосоциальных исследований и построения соответствующих региональных моделей успешная реализация крупных инфраструктурных проектов в любой части планеты, включая и новые финансовые проекты по развитию территорий Сибири и Дальнего Востока России, не возможны.

Литература

1. Викулин А.В., Викулина М.А., Семенец Н.В. Концепция катастрофизма в геологии и социуме // Система «Планета Земля». М.: ЛЕНАРД, 2014. С. 243-276.
2. Гольдин С.В. Физика «живой» Земли // Проблемы геофизики XXI века: В 2 кн. Кн. 1. / Ред. А.В. Николаев. М.: Наука, 2003. С. 17-36.
3. Блох Ю.И. Природные катастрофы и революции в религиях // Природа. 2011. № 6. С. 60-73.
4. Задонина Н.В., Леви К.Г. Хронология природных и социальных феноменов в Сибири и Монголии. Иркутск: ИрГУ, 2008. 759 с.
5. Викулин А.В., Викулина М.А., Долгая А.А. Геосоциальный процесс // Система «Планета Земля»: 200 лет священному союзу. М.: ЛЕНАРД, 2015. С. 507-521.
6. Родкин М.В., Шебалин Н.В. Проблемы измерения катастроф // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1993. № 5. С. 106-116.
7. Капица С.П. Парадоксы роста: Законы глобального развития человечества. М.: Альпина нонфикшн, 2012. 204 с.
8. Зайдель А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений. Ленинград, 1968. 96 с.
9. Фереферов К.А., Долгая А.А., Викулин А.В. Разработка информационно-вычислительной системы для анализа катастроф // Наука, образование, инновации: пути развития: материалы VI всероссийской научно-практической конференции. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2015. С. 31-35.
10. Мягков С.М. География природного риска. М.: МГУ, 1995. 224 с.
11. Трифонов В.Г., Караханян А.С. Динамика Земли и развитие общества. М.: ОГИ, 2008. 436 с.
12. Писаренко В.Ф., Родкин М.В. Распределения с тяжелыми хвостами: Приложения к анализу катастроф. М.: ГЕОС, 2007. 242 с. (Вычислительная сейсмология. Вып. 38).
13. Повестка действий в целях устойчивого развития. Доклад, представленный Генеральному секретарю ООН 23.10.2013 г. // Sustainable development solution network. A global initiative for the United Nation, 2013. 58 p.

On modeling of regularities of geosocial process

Anna Andreevna Dolgaya, Researcher

Kirill Aleksandrovich Fereferov, Graduate Student

Aleksandr Vasilyevich Vikulin, Leading Researcher

The paper describes results of modeling of natural disasters and social phenomena regularities, obtained from the database created by authors. With help of specially developed software application properties of clusterability and cyclicity of catastrophes are revealed. The concept of geosocial process is proposed.

Keywords – natural disasters, social phenomena, heavy-tailed distributions, Fourier analysis, databases.

УДК 004.91 : 681.5.017 : 62-83

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Роман Витальевич Есин, аспирант,

Тел.: 8 913 0461 988, e-mail: surgeon14@mail.ru,

*Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий,
<http://ikit.sfu-kras.ru/>*

Данная работа направлена на рассмотрение проблемы создания системы моделирования с переменной структурой для многокомпонентных технических объектов. В работе представлена концепция системы моделирования с переменной структурой, а также математические модели для разрешения противоречия «точность – скорость».

Ключевые слова: система моделирования, переменная структура, электродвигатель, S-модель.



Р.В. Есин

В настоящее время исследование прецизионных электроприводов для космических аппаратов считается актуальной задачей. Главным методом при проектировании таких многокомпонентных объектов было и остается моделирование. Требования, предъявляемые к прецизионным моделям, многократно повышают сложность моделирования. Электроприводы подобного типа обладают обратными связями по скорости, току, углу, поэтому время моделирования растет и любой переходный процесс может рассчитываться по несколько часов.

Разработка модели электромеханических систем включает в себя проектирование как совокупность разнообразных модулей. Обобщенная теория моделирования различных электромеханических устройств позволяет собирать модели электромеханических систем из моделей отдельных элементов, а точность детализации этих моделей может существенно отличаться в зависимости от выбранных допущений в процессе моделирования. На начальном этапе проектирования выбираются свойства исследуемого объекта, которые являются второстепенными, поэтому отражающими их зависимостями пренебрегают или заметно упрощают (рис. 1). Но для повы-