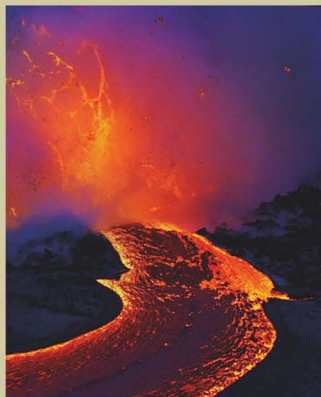


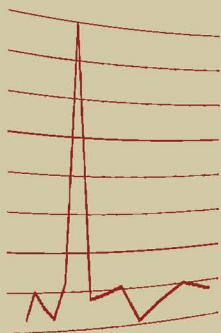


## БИБЛИОТЕКА НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК И ПРОЕКТОВ НИУ МГУ

М.С. Хлыстунов  
В.И. Прокопьев  
Ж.Г. Могилюк



# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ

М.С. Хлыстунов, В.И. Прокопьев, Ж.Г. Могилюк

ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ГЛОБАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ  
КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК  
И ВОЗДЕЙСТВИЙ

*Научный редактор М.С. Хлыстунов*

Москва 2015

УДК 621.039  
ББК 68.9  
Х61

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

**Р е ц е н з е н т ы:**

доктор технических наук, профессор *Г.Э. Шаблинский*,  
главный научный сотрудник Научно-исследовательского института  
экспериментальной механики ФГБОУ ВПО «МГСУ»;  
доктор технических наук, профессор *В.Н. Савостьянов*,  
главный научный сотрудник предприятия «ИнжСтройСервис-1»

*Монография рекомендована к публикации  
научно-техническим советом МГСУ*

**Хлыстунов, М.С.**

Х61 Закономерности глобальной эволюции климатических нагрузок и воздействий : монография / М.С. Хлыстунов, В.И. Прокопьев, Ж.Г. Могилюк ; под ред. М.С. Хлыстунова ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2015. 192 с. (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ).  
ISBN 978-5-7264-0978-8

Рассмотрены малоизученные и неизвестные ранее глобальные закономерности эволюции климатических нагрузок на строительные объекты и экосистемы урбанизированных территорий за последние 40 лет. Представлены основные спектральные и статистические проявления глобального изменения климата эндогенного и космогенного гравидинамического происхождения, включая эволюцию минимальных, среднесуточных и максимальных температур, среднесуточной влажности, прозрачности и давления атмосферы, уровня осадков, среднесуточной скорости ветра и порывов ветра. Представлены теоретические основы вариометрического анализа и моделирования метеорологических проявлений доминирующих механизмов и причинно-следственных связей резонансного характера.

Для аспирантов, магистрантов, докторантов и научных работников, занимающихся исследованиями и проектным моделированием рисков и оценкой интенсивности роста климатических нагрузок на строительные конструкции в течение всего жизненного цикла зданий и сооружений.

**УДК 621.039  
ББК 68.9**

ISBN 978-5-7264-0978-8

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2015

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ .....	6
Глава 1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАЛОИЗУЧЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И ПРОЯВЛЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА .....	16
1.1. Метод спектрального анализа .....	16
1.2. Метод статистического анализа .....	18
1.3. Вероятностный анализ рисков реализации экстремальных нагрузок и воздействий .....	22
1.4. Метод спектрального вариометрического анализа .....	24
1.5. Постановка задачи, базы данных и особенности спектрального анализа эволюции природных нагрузок и воздействий .....	29
Глава 2. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАГРУЗОК НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ .....	41
2.1. Спектральный анализ локальных колебаний температурных нагрузок в г. Анкоридже .....	41
2.2. Спектральный анализ локальных колебаний температурных нагрузок в г. Лондоне .....	46
2.3. Спектральный анализ локальных колебаний температурных нагрузок в г. Буэнос-Айресе .....	51
2.4. Спектральный анализ локальных колебаний температурных нагрузок в г. Канберре .....	55
Глава 3. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВЛАЖНОСТИ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ .....	59
3.1. Спектральный анализ локальных колебаний влажности в г. Анкоридже .....	59
3.2. Спектральный анализ локальных колебаний влажности в г. Лондоне .....	63
3.3. Спектральный анализ локальных колебаний влажности в г. Буэнос-Айресе .....	68
3.4. Спектральный анализ локальных колебаний влажности в г. Канберре .....	72

Глава 4. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ .....	76
4.1. Спектральный анализ локальных колебаний среднесуточной скорости ветра в г. Анкоридже .....	76
4.2. Спектральный анализ локальных колебаний среднесуточной скорости ветра в г. Лондоне .....	78
4.3. Спектральный анализ локальных колебаний среднесуточной скорости ветра в г. Буэнос-Айресе .....	79
4.4. Спектральный анализ локальных колебаний среднесуточной скорости ветра в г. Канберре .....	81
Глава 5. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ .....	83
5.1. Спектральный анализ локальных колебаний суточного количества осадков в г. Анкоридже .....	83
5.2. Спектральный анализ локальных колебаний суточного количества осадков в г. Лондоне .....	85
5.3. Спектральный анализ локальных колебаний суточного количества осадков в г. Буэнос-Айресе .....	87
5.4. Спектральный анализ локальных колебаний суточного количества осадков в г. Канберре .....	88
Глава 6. ЯВЛЕНИЯ КОСМОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ГЛОБАЛЬНЫХ ВАРИАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....	90
6.1. Явление космогенной эволюции интенсивности вариаций максимальных и среднесуточных температур .....	90
6.2. Явление космогенной эволюции интенсивности вариаций среднесуточной скорости ветра .....	97
6.3. Явление космогенной эволюции интенсивности вариаций ежесуточной сейсмической активности .....	104
6.4. Явление космогенной эволюции интенсивности вариаций ежесуточного количества осадков .....	110
6.5. Явление космогенной эволюции интенсивности вариаций барометрических процессов .....	118
Глава 7. КВАНТОВЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРЫВОВ ВЕТРА .....	126
7.1. Формулировка гипотезы .....	126
7.2. Теоретическое доказательство открытия квантовых закономерностей формирования порывов ветра .....	126
7.3. Методика статистического анализа закономерностей формирования порывов ветра .....	127

Глава 8. ВЕРИФИКАЦИЯ КВАНТОВЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРЫВОВ ВЕТРА .....	128
8.1. Верификация квантовых закономерностей формирования порывов ветра в г. Анкоридже .....	128
8.2. Верификация квантовых закономерностей формирования порывов ветра в г. Лондоне .....	131
8.3. Верификация квантовых закономерностей формирования порывов ветра в г. Москве .....	134
8.4. Верификация квантовых закономерностей формирования порывов ветра в г. Ниамее .....	137
8.5. Верификация квантовых закономерностей формирования порывов ветра в г. Нью-Йорке .....	140
8.6. Верификация квантовых закономерностей формирования порывов ветра в г. Токио .....	143
Глава 9. ПРОБЛЕМЫ ДОСТОВЕРНОСТИ ЧИСЛЕННОГО ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК .....	146
9.1. Динамическая погрешность и достоверность численного моделирования и мониторинга векторных динамических нагрузок ...	146
9.2. Конформность цифровых технологий численного моделирования и мониторинга векторных динамических нагрузок ...	149
9.3. Фазовая погрешность и прецессия виртуальных годографов векторных динамических нагрузок .....	157
Глава 10. ЭНДОГЕННЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ДЕГРАДАЦИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ .....	162
10.1. Геодинамическое районирование районов массовой застройки и мегаполисов .....	162
10.2. Геотектонические особенности территорий массовой застройки и мегаполисов на примере г. Москвы .....	166
10.3. Анализ эколого-геодинамической устойчивости районов массовой застройки и мегаполисов .....	172
10.4. Риски снижения устойчивости зданий и сооружений в районах размещения автодорожных эстакад .....	178
10.5. Системологические проблемы комплексных инженерных изысканий для строительства .....	181
Библиографический список .....	185

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАЛОИЗУЧЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И ПРОЯВЛЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

### 1.1. Метод спектрального анализа

В современную эпоху глобальных климатических изменений и роста геофизической активности на планете к числу важнейших научных задач строительной науки и практики относится проблема прогнозирования эволюции интенсивности аварийно опасных природных процессов, по крайней мере, на глубину градостроительного планирования.

Развитие методов климатического и геофизического прогнозирования в конце XX столетия главным образом было связано с разрозненными результатами фундаментальных исследований в области геофизики, физики атмосферы и океана, а также в смежных науках, включая климатологию, метеорологию, гидрологию, сейсмологию, вулканологию и другие направления.

Практические потребности строительной деятельности на урбанизированных территориях в период 2000—2010 гг. обусловили необходимость конкретизации задачи прогнозирования по параметрам природных процессов и повышения достоверности результатов прогноза. Это позволило бы оценить долговременную эволюцию интенсивности нагрузок и воздействий на здания и сооружения, включая высотные, транспортные, подземные и гидротехнические строительные объекты, инженерные сети и коммуникации различного назначения.

Одним из эффективных методов является классический метод спектрального, или гармонического, анализа эволюционных процессов. Этот метод успешно применяется практически во всех областях фундаментальной и технической физики для экспериментального подтверждения теоретического открытия влияния радиальных гравитационных резонансов космических объектов на рост интенсивности климатических процессов и сейсмической активности на Земле в результате воздействия на геосферы гравитационных возмущений в околоземном космическом пространстве [7—11].

Вместе с тем классический спектральный анализ колебаний физических процессов сохранил свою актуальность как тонкий инструмент предварительного анализа физических данных на предмет выявления присутствия в исследуемом процессе тех или иных резонансных или

циклических составляющих. Их обнаружение, в свою очередь, может стать основанием в пользу проведения более тонкого анализа механизмов реализации исследуемых явлений, например методом спектрального вариометрического анализа эволюционных процессов, связанных с этими явлениями.

Поэтому сначала рассмотрим эволюции климатических процессов, используя метод «тривиального» классического спектрального анализа.

В общем виде операционная схема, отражающая сущность спектрального метода анализа эволюции климатических и других процессов, может быть представлена блок-схемой алгоритма его реализации на рис. 1.1.

На этапе 1 анализа реализуется процедура формирования массива наблюдаемых натуральных колебаний  $\langle R_s(t) \rangle$  интенсивности некоторого исследуемого параметра эволюционного процесса  $R_s(t)$  и параллельно этапу 1а — массив колебаний  $\langle M_s(t) \rangle$  соответствующего параметра математической модели  $M_s(t)$  предполагаемого источника или причины активации механизма реализации эволюционного процесса по этому параметру.

На этапе 2 вычисляется спектральное отображение наблюдаемых колебаний. Для построения спектральных отображений  $F[\langle R_s(t) \rangle]$  и  $F[\langle M_s(t) \rangle]$  можно использовать, например, преобразования Фурье.

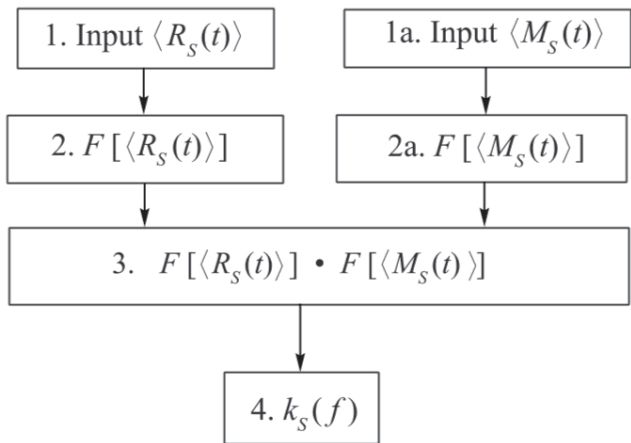


Рис. 1.1. Блок-схема алгоритма операций на базе метода спектрального анализа

Отметим, что когда известна спектральная модель эволюции интенсивности колебаний, то можно исключить выполнение процедуры формирования ее амплитудно-временного массива  $\langle Pr(t) \rangle$ . В монографии в качестве предполагаемого источника или причины активации



механизма реализации эволюционного процесса рассматривается сетка частот резонансных и циклических гравитационных возмущений.

На этапе 3 осуществляется вычисление кросскорреляционного спектра колебаний параметра наблюдаемого и моделируемого эволюционного процесса, например в спектральной области  $F[\langle R_s(t) \rangle] \cdot F[\langle M_s(t) \rangle]$ , как показано на блок-схеме рис. 1.1. Для каждого из спектральных проявлений, учитываемых при моделировании резонансных и циклических гравитационных возмущений, вычисляется коэффициент корреляции  $k_s(f)$ , который показывает степень их влияния на интенсивность колебания исследуемого (наблюдаемого) параметра эволюционного процесса. Достоверность вычисления коэффициента корреляции может быть установлена, например, при необходимости его метрологической верификации, при многократном повторении рассмотренных процедур анализа для целого ряда массивов колебаний, регистрируемых в разные периоды наблюдения. Тогда погрешность вычисления коэффициента может быть, например, уменьшена в  $\sqrt{N}$  раз, где  $N$  — количество исследуемых массивов колебаний.

Данные спектрального анализа можно использовать для обнаружения (открытия) закономерностей или явлений реализации экстремальных нагрузок и воздействий, в том числе имеющих резонансный или устойчивый циклический характер.

Детальные алгоритмические процедуры реализации этой схемы для конкретных параметров исследуемого эволюционного процесса глобальных изменений климата будут рассмотрены далее в соответствующих разделах монографии. Для повышения избирательности спектрального метода авторами был предложен вариометрический метод, предусматривающий выделение из массивов данных метеонаблюдений эволюционных возмущений (вариации или отклонения текущих данных от средневековых), которые только затем подвергаются спектральному анализу.

## 1.2. Метод статистического анализа

В отличие от методов спектрального анализа, предназначенных для выявления или выделения и идентификации в широкой полосе частот отдельных периодических и резонансных составляющих, содержащихся в массивах данных мониторинга изучаемых процессов, статистический метод предназначен для выявления и идентификации механизмов реализации неизвестных ранее эффектов, явлений и закономерностей, проявления которых в массивах данных мониторинга могут быть обна-

ружены за счет анализа, например, зависимости распределения количества изучаемых событий от амплитуды параметра процесса.

Трудоемкий статистический метод исследований исторически занимает важное место практически во всех разделах физики. Но надо иметь в виду, что его применение, как правило, связано не столько с его уникальностью, сколько с трудностями применения аналитических методов математической физики в связи с наличием в изучаемых процессах мало изученных или ранее неизвестных явлений, эффектов и закономерностей [3; 4; 5; 6]. Как правило, массивы данных мониторинга параметров таких процессов до момента открытия неизвестных ранее явлений, эффектов и закономерностей представляют собой массивы случайных величин, явно не имеющих «контрастных» проявлений неизвестных ранее причинно-следственных связей.

Таким образом, анализ распределения случайных величин проводится при отсутствии знания, откуда берутся и в результате действия каких механизмов или закономерностей устанавливаются эти законы распределения. С точки зрения классической теории вероятности, можно утверждать, что ответ на этот вопрос (откуда и каких?) вполне определен — в основе всех этих характеристик лежат данные реальных натуральных наблюдений или эмпирический опыт. Исследование причин реализации «непонятных» случайных явлений или событий, выполняемых методами теории вероятностей, прямо или косвенно опирается на экспериментальные данные. Опираясь такими понятиями, как события и их вероятности, т.е. случайные величины, с законами распределения и числовыми характеристиками, теория вероятностей дает возможность теоретическим путем определить вероятности реализации, законы распределения, числовые характеристики конечных событий через значения параметров начальных событий. Такие косвенные методы позволяют значительно экономить время и средства, затрачиваемые на длительные и трудоемкие «блуждающие» эксперименты в «тумане» с бесплодными попытками воспроизведения гипотетических явлений, эффектов и закономерностей, но они не исключают необходимости получения представительных статистических данных, например, мониторинга эволюции параметров исследуемых климатических процессов.

К числу типичных задач математической статистики, занимающихся мониторингом и статистическим анализом экспериментальных данных, относятся следующие.

1. При обработке статистических данных ставится задача, какие данные наблюдаемого процесса или события относятся к постоянным, устойчивым и действительно относятся к существующему, но неизвестному ранее явлению, а какие являются иллюзией или фантомом и

появляются в данной выборке только за счет ограниченного (недостаточного) объема относящихся к исследуемому явлению данных.

2. При решении другой задачи, например, задачи верификации, т.е. ответа на вопрос: «Подтверждают ли статистические данные мониторинга (наблюдений) выдвинутую авторами гипотезу о существовании неизвестного ранее явления, эффекта, свойства, закона или закономерности?».

3. При решении задачи повышения точности определения числовых параметров распределения, когда при малом объеме данных мониторинга корректно задача не может быть решена. В этом случае на первом этапе исследования может быть поставлена только задача об оценке погрешности статистического анализа и об использовании таких приближенных значений, которые при массовом применении приводили бы в среднем к меньшим ошибкам, чем другие приближения.

Методика определения функции распределения состоит в следующем. Необходимо оценить закон распределения некоторой случайной величины  $X$ . Совокупность наблюдаемых значений интересующей величины представляет собой первичный статистический материал или простую статистическую совокупность. Как правило, эту совокупность представляют в виде таблицы, где один столбец определяет номер  $i$  элемента массива данных мониторинга, а второй — значение наблюдаемого параметра  $x_i$ . Простейшим способом статистического анализа является построение статистической функции распределения

$$F(x) = P(X < x), \quad (1.1)$$

которая отличается от обычной функции распределения имеющимся статистическим материалом, а  $P$  — статистическая частота события в данном статистическом материале. Для того, чтобы найти значение статистической функции распределения при данном  $x$ , достаточно подсчитать число замеров, проб или опытов, в котором величина  $X$  приняла значение, меньшее чем  $x$ , и разделить на общее число  $n$  произведенных замеров, проб или опытов.

Статистическая функция распределения любой случайной величины — прерывной или непрерывной, представляет собой ступенчатую или решетчатую функцию.

При  $n \rightarrow \infty$ , согласно теореме Бернулли,  $F(x)$  приближается (сходится по вероятности) к подлинной искомой функции распределения  $F(x)$ . Если  $X$  — непрерывная величина, то  $F(x)$  приближается к плавной кривой  $F(x)$ .

При большом или представительном массиве данных мониторинга или числе отсчетов наблюдений простая статистическая совокупность становится слишком громоздкой и неудобной. Для придания большей компактности и наглядности статистический материал должен быть подвергнут дополнительной обработке. При большом числе наблюде-

ний строится так называемый «статистический ряд». Для этого весь большой диапазон из  $n$  наблюдений  $X$  делим на интервалы или «разряды», когда в каждом разряде находится  $m_i$  значений  $x_i$ . Статистическая частота, соответствующая каждому разряду, составит

$$P_i = \frac{m_i}{n}. \tag{1.2}$$

Так как сумма всех  $m_i$  не может быть больше и равна  $n$ , то тогда сумма частот  $P_i$  всех разрядов должна равняться единице.

В табл. 1.1 приведены разряды в порядке их расположения вдоль оси абсцисс и соответствующие частоты, называемые статистическим рядом.

Таблица 1.1

**Табличный вид статистического ряда**

$[x_i; x_{i+1}]$	$[x_1; x_2]$	$[x_2; x_3]$	...	$[x_i; x_{i+1}]$	...	$[x_k; x_{k+1}]$	...
$P_i$	$P_1$	$P_2$	...	$P_i$	...	$P_k$	...

Можно оформить статистический ряд графически в виде гистограммы, когда по оси абсцисс откладываются разряды и на каждом этом основании строится прямоугольник, площадь которого равна частоте данного разряда (см. рис. 1.1).

При увеличении числа опытов и выборе все более мелких разрядов гистограмма будет приближаться к некоторой кривой, площадь под которой будет равна единице. Эта пунктирная кривая на рис. 1.2 представляет собой график плотности распределения величины  $X$ .

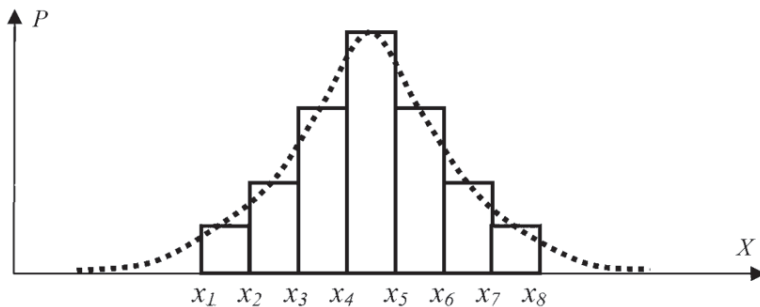


Рис. 1.2. Гистограмма плотности распределения величины  $X$

В следующих главах монографии рассмотрим, как можно использовать статистические данные и плотности их распределения для оценок риска реализации экстремальных природных нагрузок и воздействий, в том числе имеющих решетчатый или «квантовый» характер.

### **1.3. Вероятностный анализ рисков реализации экстремальных нагрузок и воздействий**

По своему смысловому определению риск есть понятие относительное. Например, приводимые МЧС данные по пожарной безопасности (ПБ) и чрезвычайным ситуациям (ЧС) имеют общегосударственный уровень. Они показывают, какие потенциальные опасности с точки зрения нанесения ущерба здоровью населения реализуются по всем (или большинству) угрозам. Эти же данные позволяют проследить динамику этих угроз и определять руководству страны, как работают ответственные за противодействие тем или иным чрезвычайным ситуациям структуры и какие проблемы требуют первоочередных действий на государственном уровне. Вместе с тем, эти данные затрагивают лишь ущерб здоровью населения и не освещают материальный ущерб (вероятно из-за отсутствия равноценной для всех случаев методики). Адекватное соотношение между финансовыми потерями этих двух составляющих ущерба невозможно получить, например, без определения цены ущерба здоровью или жизни человека.

Так как эти данные, являясь интегральными по стране, то, следовательно, они не содержат статистической информации по конкретным объектам (объектовый уровень). Такие данные формируются в отраслевых структурах, что позволяет использовать их при оценке риска, например, аварий на конкретных объектах и через них влиять на интегральные показатели.

Наряду с таблицами годовых изменений количества ЧС и последствий приводятся данные по видам и регионам в процентах. Такой подход позволяет позитивно представить эффективность деятельности соответствующих региональных служб, несмотря на то, что приводимые показатели являются случайными величинами и, следовательно, изменения по годам также носят случайный характер. Зачастую предпринимаются попытки по пилообразным кривым изменения отдельных показателей по годам прогнозировать тенденцию их изменения без достаточной математико-статистической обработки.

Наряду с этим нельзя судить по приведенным данным о величине индивидуального риска для жителей России ввиду неполноты приводимых данных. Отсутствуют данные по криминальной статистике. В связи с этим данные, например, приводимые ГИБДД по погибшим в дорожно-транспортных происшествиях, составляют существенно большие значения, чем реальные, не связанные с криминальными ситуациями. Наряду с этим по крупным и экологически опасным строительным объектам (атомные станции, крупные химические заводы, пла-

тины ГЭС и т.п.) статистика ЧС либо просто отсутствует (не было крупных аварий), либо весьма незначительна.

Однако для эффективного управления рисками в период эксплуатации объекта и внедрения предупредительных мер по их снижению необходимо выполнить оценку возможных рисков и ущерба на стадии проектирования объекта.

Другими словами, при проектировании объекта необходимо иметь прогнозную оценку вероятности реализации случайных (чрезвычайных) событий, например, климатического, метеорологического и геофизического характера, которые хотя, как правило, и имеют малую вероятность реализации, но могут привести к катастрофическим последствиям (ущербам) при отсутствии или весьма ограниченной статистической или прогнозной информации на этот счет.

Сложный и потенциально опасный объект всегда можно объективно или условно разделить на отдельные системы, элементы инженерного и технологического оборудования, строительные конструкции и другие компоненты, обеспечивающие нормальную эксплуатацию объекта, защиту объекта от крупных сверхпроектных нагрузок и воздействий и снижение рисков аварий. Системы в свою очередь состоят из набора более мелких составных частей, которые будем называть элементами. В результате возникновение ЧС на строительном объекте обусловлено отказами тех или иных элементов, необходимых для его нормальной (безопасной) эксплуатации, или внешними сверхпроектными нагрузками и воздействиями, а также надежностью функционирования элементов систем защиты объекта или его систем безопасности. Внешние экстремальные воздействия и отказы в части нарушения надежности элементов конструкции имеют вероятностный характер, а их оценка требует соответствующего методического подхода и представительной базы данных, т.е. необходимо иметь:

а) представительные банки по надежности (или отказам) систем и элементов строительной конструкции объекта;

б) методику определения вероятности различных путей развития строительной аварии при экстремальных нагрузках и определения последствий (ущерба) для каждого конечного состояния, в котором оказывается объект в результате ЧС.

Под малыми вероятностями ЧС (аварий или рисков) подразумевается, что сумма  $P_{\text{ЧС}}$  вероятностей всех учитываемых таких аварий  $P_i$  значительно меньше единицы:

$$P_{\text{ЧС}} = \sum_i P_i \ll 1. \quad (1.3)$$

Напомним, что под вероятностью  $P_i$  понимается вероятность  $i$ -й строительной аварии за время всего жизненного цикла объекта  $T_{ж}$  либо вероятность такой аварии на системе однотипных объектов, параллельно работающих или замещающих друг друга в течение определенного времени. Обычно для ответственных строительных объектов величина  $T_{ж}$  может быть в диапазоне от 10 до 100 лет. После капитального ремонта или существенной реконструкции и модернизации объекта требуется проведение повторного анализа значений  $P_i$ .

Имеется достаточное количество методик, позволяющих проводить анализ функционирования сложных строительных и других технических систем в различных ситуациях. В качестве примера можно назвать методики, основанные на логико-вероятностных методах. К числу получивших особенно широкое распространение следует отнести метод вероятностного анализа безопасности (ВАБ). Суть этого метода, с точки зрения определения вероятности, заключается в том, что вероятности редких аварий со значительными последствиями пытаются определить через последовательный анализ путей и вероятностей развития аварии от исходного события до конечного состояния, основываясь на более апробированные данные об отказе строительных систем и элементов объекта с учетом резервирования, обслуживания, ремонта и т.п.

Однако реализовать все перечисленные методы оценки рисков строительных аварий в результате экстремальных природных воздействий невозможно без знания статистики таких событий за предыдущий период длительностью не менее проектного срока эксплуатации объекта и прогноза эволюции интенсивности реализации таких событий на предстоящий период также длительностью не менее проектного срока эксплуатации или всего жизненного цикла объекта.

#### **1.4. Метод спектрального вариометрического анализа**

В настоящее время к числу перспективных методов можно отнести метод спектрального вариометрического анализа эволюционных процессов. Этот метод был разработан в МГСУ при выполнении фундаментальной НИР по проекту №2.1.2/7185 в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» на 2009—2010 гг. и успешно применен для экспериментального подтверждения теоретического открытия влияния радиальных гравитационных резонансов космических объектов на рост интенсивности климатических процессов и сейсмической активности на Земле в результате воздействия на геосферы гравитационных возмуще-

ний в околосемном космическом пространстве (см. подробнее Труды 1-го Международного аэрокосмического конгресса IAC'94 [7]).

В общем виде операционная схема, отражающая сущность метода спектрального вариометрического анализа эволюции климатических и других процессов, может быть представлена блок-схемой алгоритма его реализации на рис. 1.3.

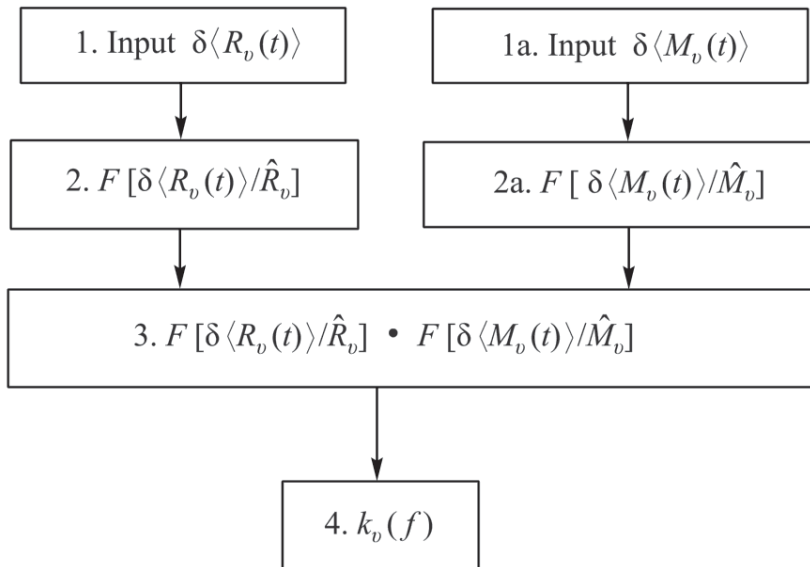


Рис. 1.3. Блок-схема алгоритма операций на базе спектрального вариометрического метода анализа эволюционных процессов

На этапе 1 анализа реализуется процедура формирования массива наблюдаемых натуральных вариаций  $\delta\langle R_v(t)\rangle$  интенсивности некоторого исследуемого параметра эволюционного процесса  $R_v(t)$  и параллельно на этапе 1а — массива вариаций  $\delta\langle M_v(t)\rangle$  математической модели  $M_v(t)$  предполагаемого источника или причины активации механизма реализации эволюционного процесса по этому параметру.

На этапе 2 вычисляется спектральное отображение наблюдаемых вариаций, например путем Фурье преобразования  $F[\delta\langle R_v(t)\rangle/\hat{R}_v]$ , которое нормируется по максимальному значению амплитуды этих вариаций, и параллельно на этапе 2а — нормированное спектральное отображение моделируемых вариаций  $F[\delta\langle M_v(t)\rangle/\hat{M}_v]$ . Причем следует отметить, что когда известна спектральная модель эволюции интенсивности вариаций, то можно исключить выполнение процедуры



формирования ее амплитудно-временного массива  $\delta\langle M_v(t) \rangle$ . Например, в рассматриваемых в монографии случаях, когда в качестве предполагаемого источника или причины активации механизма реализации эволюционного процесса является сетка частот резонансных и циклических гравитационных возмущений.

На этапе 3 осуществляется вычисление кросскорреляционного спектра вариаций параметра наблюдаемого и моделируемого эволюционно-го процесса, например в спектральной области

$$F[\delta\langle R_v(t) \rangle / \hat{R}_v] \cdot F[\delta\langle M_v(t) \rangle / \hat{M}_v], \quad (1.4)$$

как показано на блок-схеме рис. 1.3. В результате для каждого из спектральных вариационных проявлений, учитываемых при моделировании резонансных и циклических гравитационных возмущений, получаем коэффициент их влияния на вариации исследуемого (наблюдаемого) параметра эволюционного процесса или, так называемый, корреляционный коэффициент  $k_v(f)$ . Достоверность вычисления коэффициента может быть установлена, например, при необходимости его метрологической верификации, при многократном повторении рассмотренных процедур анализа для целого ряда массивов вариаций, регистрируемых в разные периоды наблюдения. Тогда погрешность вычисления коэффициента, как и в случае спектрального анализа, может быть, например, уменьшена  $\sqrt{N}$  раз, где  $N$  — количество исследуемых массивов вариаций.

В результате осуществляется полный цикл операции верификации математических моделей (теоретических гипотез), который может быть реализован и в спектральной области, как показано на рис. 1.3. Показателем адекватности теоретической модели будет значение коэффициента кросскорреляции или свертки спектральных образов наблюдаемого и моделируемого по гипотезе исследуемого процесса. Детальные алгоритмические процедуры реализации этой схемы для конкретных параметров исследуемого эволюционного процесса будут рассмотрены далее в соответствующих разделах монографии.

В отличие от алгоритма классического спектрального анализа (см. рис. 1.1) метод спектрального вариометрического анализа позволяет непосредственно оценить вес влияния активатора эволюционного процесса на вариации или отклонения текущих параметров от их средневековых значений, что особенно важно как для составления прогнозной модели эволюции, так и с точки зрения устранения стационарных составляющих его влияния на спектр стационарных колебаний исследуемого параметра, но не на его эволюцию.

*Научное издание*

**Хлыстунов** Михаил Сергеевич,  
**Прокопьев** Валерий Иванович,  
**Могилюк** Жанна Геннадиевна

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ  
КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Редактор, корректор *В.К. Чупрова*

Верстка макета *О.В. Суховой*

Обработка иллюстраций и дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 15.11.2014 г. И-270. Формат 60×84/16.

Усл.-печ. л. 14,06. Уч.-изд. 12,34. Тираж 200 экз. Заказ 86

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Московский государственный строительный университет».

129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.

E-mail: [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru), [rio@mgsu.ru](mailto:rio@mgsu.ru).

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.

Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44