

Физико-математические науки

СИСТЕМНЫЙ СИНТЕЗ КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ КЛИМАТА**А.А. Воронцов, С.Р. Степаненко***ГУ «ВНИИГМИ-МЦД»
Обнинск, Россия*

Введение. Центральной задачей науки о климате является предсказание климата и последствий его изменений [3]. Решение этой задачи возлагается, главным образом, на физико-математическую модель климата. Успешность прогнозирования зависит от адекватности модели, для проверки которой необходимы надежные данные о состоянии климата в прошлом. Цель этой работы – показать, что для оценивания климата можно использовать измерительно-вычислительный комплекс, включающий данные измерений на метеостанциях с дискретностью не менее 3 часа и метод системного синтеза для вычисления климатических характеристик.

Понятие климата. По определению [4, 7] «...климат – это статистический ансамбль состояний, проходимых системой атмосфера-океан-суша за периоды времени несколько десятилетий». В этом определении содержится два недостатка: в системе генерируется не один, а множество взаимосвязанных ансамблей разных пространственно-временных масштабов колебаний и противоречиво понятие «климатические характеристики». С одной стороны утверждается, что климатическими характеристиками считаются дескриптивные стати-

стики («нормы»), полученные за стандартный период 30 лет [3]. Следовательно, характер изменения климата за 100 лет невозможно надежно оценить, поскольку на этом интервале мы имеем всего лишь три независимых значения. Однако далее говорится, что «...важнейшим параметром состояния климата является именно аномалия температуры у поверхности планеты, осредненная по всему Земному шару, или полушарию, или региону». Поэтому оценками изменения климата являются изменения аномалий. Причем, аномалии должны быть определены за период менее 30 лет, т.к. в противном случае они тождественно будут равны нулю. На практике изменения климата оцениваются по значениям среднегодовых аномалий, усредненных по полушарию. При этом возникает еще одно противоречие: локальный климат есть проявление глобального климата [7]. Но осреднение по полушарию означает, что все локальные климаты тождественны между собой. А если средние аномалии вычисляются независимо для каждого региона, то это означает, что глобальный климат есть сумма локальных климатов, что противоречит определению климата в [7].

Альтернативное определение. Дадим другое понятие климата: климат – это глобальное макросостояние атмосферы. Измерение климата означает определение параметров макросостояния (климатических характеристик) по данным метеорологиче-

ских наблюдений. Климатическая система представляет неразрывное целое. Атмосфера - это связующее звено всех внутренних подсистем климатической системы. В колебаниях ее характеристик отражаются изменения всей системы. Макросостояние можно характеризовать глобальными пространственными функциями текущих значений параметров годового хода основных процессов в атмосфере - мезомасштабных и иных флуктуаций. Характеристика мезомасштабных колебаний есть среднеквадратическое отклонение от функции суточного хода за данные сутки. Параметрами суточных колебаний являются наименьшее значение за сутки и амплитуда суточного хода. Каждый из этих параметров можно характеризовать за каждый год средним годовым значением и амплитудой годового хода. Отклонения мезомасштабных флуктуаций от их годового хода обусловлены процессами синоптического масштаба за год. Эти отклонения также можно характеризовать среднеквадратическими отклонениями.

Для определения климатических характеристик (параметров глобальных полей) можно использовать системный синтез. Основные принципы системного синтеза

для климатической системы, сформулированы в [5]. Они позволяют практически решать задачу реконструкции аттрактора состояния системы по эмпирическим данным [2].

Три основные предпосылки системного синтеза

Макросостояние системы при заданных внешних условиях является инвариантом. Повторение внешних условий порождает множество состояний, подобных инвариантной структуре [1,4].

Для описания макросостояния знание физических механизмов взаимодействия внутренних подсистем не является обязательным условием.

Каждому макросостоянию соответствует вполне определенная функция распределения микросостояний. Это соответствие можно найти эмпирически.

Поясним кратко сущность системного синтеза для определения климатических характеристик. Пусть $u_{jk}(\varphi, \lambda, t)$ – значения температуры воздуха на станции с координатами φ, λ за j -тый день k -того года, t – время в течение суток. Внешние условия для этого дня в году за весь период наблюдений будем считать постоянными. Тогда $u_{jk}(t)$ можно представить в виде:

$$u_{jk}(\varphi, \lambda, t) = y_{1jk}(\varphi, \lambda) + y_{2jk}(\varphi, \lambda)f(\varphi, \lambda, t) + \varepsilon_{jk}(\varphi, \lambda, t), \quad (1)$$

где $f(\varphi, \lambda, t)$ – инвариант (*эталон*) суточного хода температуры воздуха.

Из (1) $f(\varphi, \lambda, t)$ заменим многолетним суточным ходом за j -тый день $\bar{u}_j(\varphi, \lambda, t)$, откуда:

$$u_{jk}(\varphi, \lambda, t) = y_{1jk}(\varphi, \lambda) + y_{2jk}(\varphi, \lambda)\bar{u}_j(\varphi, \lambda, t) + \varepsilon_{jk}(\varphi, \lambda, t). \quad (2)$$

Определим параметры $y_{1jk}(\varphi, \lambda)$, $y_{2jk}(\varphi, \lambda)$ методом наименьших квадратов и найдем за каждый день среднеквадратические отклонения $y_{3jk}(\varphi, \lambda)$ значений $\varepsilon_{jk}(\varphi, \lambda, t)$. Изменение каждого параметра в течение года можно представить в виде (2), где в качестве u используются средние многолетние сезонные изменения параметра. В итоге получим шесть новых параметров, не зависящих от номера дня в году j . Далее поле каждого из шести параметров представим в виде линейной зависимости от его же среднего многолетнего поля. Коэффициен-

ты этих зависимостей можно найти эмпирически. Они не зависят от пространственных координат, т.е. являются глобальными характеристиками сезонных изменений определенного процесса. Межгодовые изменения этих параметров являются полной характеристикой колебаний климата. Обозначим вектор параметров, характеризующий годовой ход как \vec{p} , а вектор параметров, характеризующий флуктуации от годового хода как \vec{q} . Изменение этих параметров происходит взаимообусловлено, т.е. можно записать

$$\Phi(\vec{p}, \vec{q}) = \vec{\varepsilon}, \quad (4)$$

где $\vec{\varepsilon}$ - неизвестный вектор погрешностей параметров \vec{p}, \vec{q} .

Выражение (4) можно называть уравнением состояния климатической системы, связывающее ее микро- и макросостояния. Оно позволяет оптимально согласовать значения искомым параметров, минимизируя вектор $\vec{\varepsilon}$.

Эмпирическим обоснованием альтернативного подхода является адекватность линейной зависимости реализаций полей и процессов от их средних многолетних значений. Это может быть лишь в том случае, если правильно выбран инва-

риант и выполняется условие подобия (правило «золотой пропорции»). Адекватность линейных зависимостей легко проверяется визуально. Дополнительным доказательством обоснования альтернативного подхода является зависимость инвариантов только от внешних условий. Покажем это на примере зависимости среднего многолетнего годового хода температуры воздуха, осредненной по полушарию $\bar{y}(\xi)$ от склонения Солнца $\delta(\xi)$, ξ - время в течение года.

Представим $\bar{y}(\xi)$ и $\delta(\xi)$ в виде сумм:

$$\delta(\xi) = \delta_1(\xi) + \delta_2(\xi), \quad (5)$$

$$\bar{y}(\xi) = \bar{y}_1(\xi) + \bar{y}_2(\xi), \quad (6)$$

где $\bar{y}_1(\xi)$, $\delta_1(\xi)$ – гармонические функции времени, а $\bar{y}_2(\xi)$, $\delta_2(\xi)$ – отклонения от гармонических функций (от равномерного движения Земли по окружности).

Для построения эмпирической модели был использован архив “National Climatic Data Center. Data Set 9300 (DSI-9300). October 18, 2004. Asheville, NC 28801-5001 USA”, содержащий минимальные и максимальные значения температуры воздуха за сутки. Из архива были выбраны данные по 435 станциям, примерно равномерно расположенных на Евро-Азиатском и Се-

веро-Американском континентах за период 1948-1999 годы, не содержащий существенных пропусков. Анализ показал, что составляющая $\bar{y}_1(\xi)$ зависит от $\delta_1(\xi)$ с запаздыванием 30 дней. (Для сравнения: гармонические составляющие средней амплитуды годового хода на полушарии запаздывают на 22 дня, а гармоническая составляющая *среднеквадратического отклонения* от годового хода всего на 17 дней.)

Методом регрессионного анализа получено следующее выражение для $\bar{y}_2(\xi)$:

$$\bar{y}_2(\xi) = c_0 + c_1x_1 + c_2x_3 + c_3x_1x_3 + (d_0 + d_1x_2 + d_2x_3 + d_3x_1x_2 + d_4x_1x_3)x_4 + \varepsilon, \quad (7)$$

где: $x_1 = \delta_2(\xi_i)$, $x_2 = \Delta \delta_2(\xi_i)$, $x_3 = \Delta^2 \delta_2(\xi_i)$, $x_4 = \Delta \delta_1(\xi_i)$, $c_0 - c_3$, $d_0 - d_4$ – параметры.

Коэффициент детерминации модели (7) равен 90.7%, все параметры статистически значимы не менее чем при 95% уровне вероятности. Результаты аппроксимации показывают, что модель (7) можно признать адекватной эмпирическим данным. Отметим, что аналогичные модели для амплитуды годового хода и среднеквадратического отклонения имеют коэффициенты детерминации близкие к 100%. Изменения климатических характеристик (параметров подобия глобальных полей), получаемых с помощью системного синтеза имеют две составляющие: «медленные» и «быстрые» колебания. Климатические характеристики, получаемые системным синтезом изменяются взаимосвязано (как и «положе-

но» параметрам макросостояния системы). При этом взаимосвязь для медленных и быстрых изменений необходимо может быть, очевидно, разной, т.к. быстрые и медленные колебания отражают влияние на атмосферу разных компонентов климатической системы. Регрессионный анализ медленных изменений позволяет для всех параметров получить модели с коэффициентами детерминации 97% и более. Для короткопериодных колебаний коэффициенты детерминации заметно меньше - от 81% и выше. Это вполне понятно, т.к. погрешности климатических характеристик, обусловленные ограниченным объемом данных в пространстве и во времени, в основном, сосредоточены в короткопериодной составляющей.

Сравнение альтернативного и традиционного способа определения климатиче-

ских характеристик. Основное принципиальное отличие двух подходов состоит в том, что в классической климатологии многолетнее поле никак не используется для оценки текущего климата. В системном синтезе, напротив, многолетнее поле используется как эталон для оценки климата за текущий год.

Применение климатических характеристик, полученных системным синтезом. Зная климатические параметры и многолетние поля, легко получить «нормы» на каждый текущий год, если в этом есть необходимость для решения прикладных задач. Высокая степень взаимосвязи «медленных» и «быстрых» колебаний климатических параметров может служить основанием для разработки эмпирических методов их прогнозирования. Это можно сделать, например, на основе теоремы Такенса [2] с помощью модели динамической авторегрессии, в которой случайная компонента может быть равной нулю (в отличие от статистической авторегрессии). При этом, модельные значения должны, очевидно, удовлетворять тем же соотношениям подобия полей, что и результаты наблюдений. Особенно важно, чтобы модельные поля были подобны эмпирическим инвариантам (эталонам) и траектория движения точки в фазовом пространстве переменных (4) была бы продолжением траектории, полученной по эмпирическим данным. В этом случае можно надеяться на то, что можно получить не только надеж-

ные значения климатических характеристик, но и детальный долгосрочный прогноз погоды.

Резюме. Любая теория должна опираться на эмпирические факты. Изложенный подход можно рассматривать как измерительно-вычислительный комплекс получения климатических характеристик, учитывающий современные достижения современной науки, в частности, теорию нелинейной динамики и самоорганизации. Надежные измерения климатических характеристик позволит плодотворно развивать и теоретические, и эмпирические методы долгосрочного прогнозирования погоды и климата.

Список литературы

1. Колесников А.А. Прикладная синергетика: основы системного синтеза. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2007. – 384 с.
2. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: Едиториал УРСС. - 2002. – 360 с.
3. Результаты исследований изменений климата для стратегий устойчивого развития Российской Федерации. - М.: ООО ВИВА-СТАР. – 2005. – 212 с.
4. Сороко Э.М. Золотые сечения, процессы самоорганизации и эволюции систем. – М.: КомКнига. - 2009. – 264 с.
5. Степаненко С.Р., Воронцов А.А. Принципы системного синтеза эмпирических законов на примере моделирования климата. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. - № 5. - с. 65-74.

6. Физические основы климата и его моделирования – Л.: Гидрометеиздат. - 1977. – 271 с.

Химические науки

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОБМАЗКУ НА ПРОЦЕССЫ КОМПЛЕКСНОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ СТАЛИ

С.Г. Иванов, М.А. Гурьев,

А.Г. Иванов, А.М. Гурьев

*Алтайский государственный
технический университет им. И.И.
Ползунова*

Структура и свойства поверхностных слоев деталей машин и инструмента оказывают важное влияние на их работоспособность, так как в процессе эксплуатации именно поверхностные слои наиболее интенсивно подвергаются температурно-силовым и агрессивным воздействиям. В ряде случаев ХТО является единственно возможным средством получения требуемых эксплуатационных свойств не только поверхности, но и изделия в целом.

В настоящей работе проведены комплексные исследования структуры и свойств образцов из стали Ст3 после процессов совместного насыщения бором и другими элементами (никель, вольфрам) из насыщающей обмазки на основе карбида бора.

В качестве добавок использовались как соединения данных элементов (оксиды, карбиды, бориды), так и чистые металлы.

При введении в смесь для борирования вольфрама, либо его соединений (карбидов или оксидов) структура диффузионного слоя по сравнению с борированием изменяется: боридные иглы становятся толще и по большей части закругляются. Часть игл при этом начинает расти под углом к поверхности образца, по границам бывших зерен. Количество высокобористой фазы незначительно возрастает, так как вольфрам способствует ее образованию. Наряду с этим добавка вольфрама в насыщающую смесь увеличивает хрупкость низкобористой фазы Fe₂B. Усредненная толщина образующегося боридного слоя в случае борвольфрамирания составляет порядка 20 мкм, что 3–3,5 раза меньше, чем при однокомпонентном борировании [1, 2]. Существенные изменения в случае борвольфрамирания с применением в качестве инертной добавки углерода претерпевают переходная зона и сердцевина образца. Исчезает видманштеттова структура, количество перлита увеличено по сравнению с количеством, характерным для равновесной структуры этой стали.

Диффузионный слой, полученный на стали Ст3, где в качестве добавки к борировочной смеси использовался никель либо его соединения, наоборот, имеет вид тонких острых игл, при этом средняя толщина такого слоя составляет порядка 350 мкм, а