

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 510 + 519.24/27

РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ ПОДЧИНЯЕТСЯ ЗАКОНАМ НЕЛИНЕЙНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

© Д.Б.Архипов

Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 1 июля 1998г.

Проведено наукометрическое исследование журнала Nature и шести журналов по аналитической химии. Предложена математическая модель, описывающая изменение числа публикаций от времени. Модель удовлетворительно аппроксимирует динамику публикаций, но не обладает прогностическими свойствами вследствие бифуркации.

В наукометрии общепринято [1], что динамика числа публикаций y в первом приближении описывается нелинейным дифференциальным уравнением

$$dy/dt = ky(N - y), \quad (1)$$

где t — время, k и N — константы. Для стационарного случая решение этого уравнения и физический смысл констант в наукометрии общеизвестны [1]. Следует отметить, что уравнение (1) носит название логистического и широко применяется для описания динамики физических (в том числе при решении задач статистической физики [2]), химических, биологических и др. процессов, которые определяются разного рода стимулами и ограничениями.

На практике условия стационарности могут

выполняться только на относительно коротких интервалах времени, которые для наукометрических исследований не представляют интереса. Поэтому для интервалов времени, охватывающих несколько десятилетий требование неизменности коэффициентов k и N является слишком жестким. В качестве наглядного примера возможного источника нестационарности была проанализирована динамика изменения числа соавторов статей по хроматографии в журнале Nature с 1941 г. по 1997г. Как видно из рис. 1, где по оси абсцисс отложены величины, обратные числу соавторов статей, эта зависимость в рассматриваемом интервале времени хорошо аппроксимируется прямой. Поэтому можно утверждать, что имеет место гиперболический рост числа соавторов, т.е. реально имеет место существенная нелинейность исследуемого про-

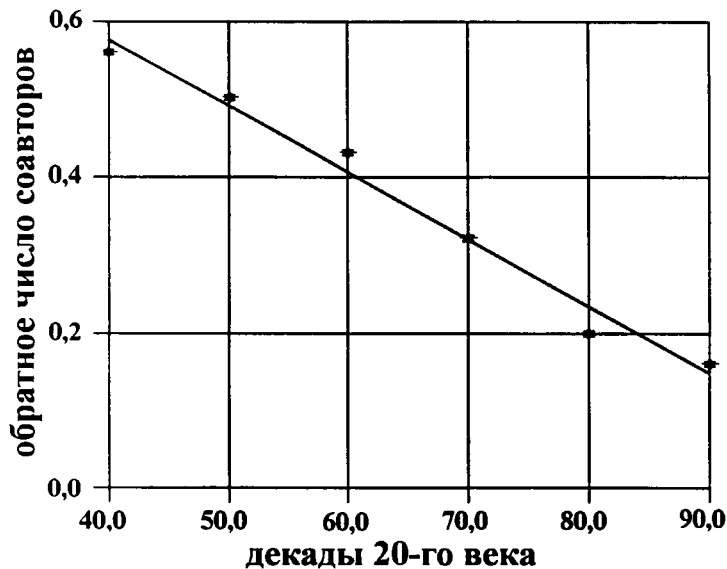


Рис. 1. Зависимость от времени обратного среднего числа соавторов статей по хроматографии и электрофорезу в журнале Nature.

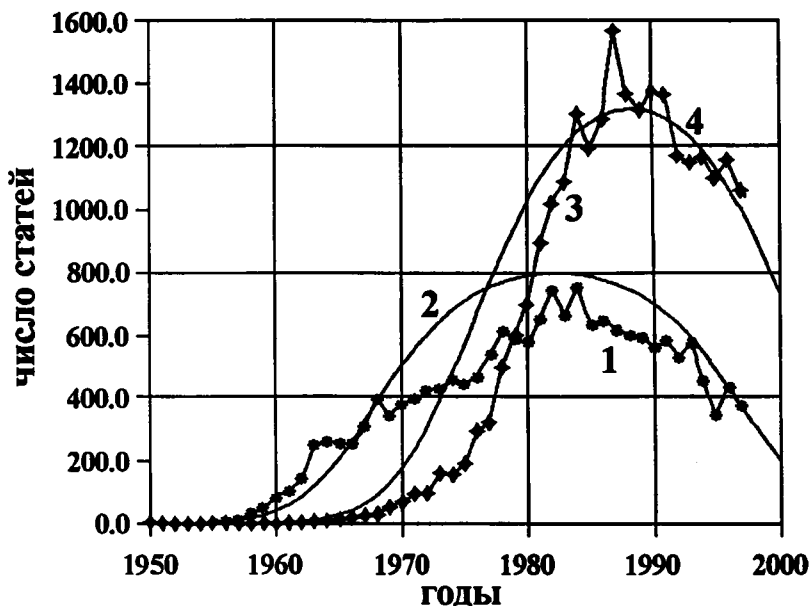


Рис. 2. Динамика изменения числа статей по газовой хроматографии (1) и по жидкостной хроматографии (3), данные по 6 ведущим журналам. Кривые (2) и (4) — соответствующие аппроксимации.

цесса.

Рассмотрим, какое прогностическое значение может иметь введение в уравнение (1) нестационарности коэффициентов k и N .

Пусть в первом приближении нестационарность этих коэффициентов выражена как линейно падающая зависимость:

$$k = k_0(1 - at) \quad (2)$$

$$N = N_0(1 - bt), \quad (3)$$

где k_0 и N_0 — начальные значения соответствующих коэффициентов, а a и b — соответствующие относительные скорости их изменения.

Соотношение (2) имеет смысл ослабления влияния правой части уравнения (1) на скорость изменения числа публикаций, что характерно для периода, соответствующего относительно высокому уровню развития научной дисципли-

ны, составляющей предмет публикации [1]. Соотношение (3) отражает временную вариацию константы N , имеющей физический смысл "стимула" развития научной дисциплины и, соответственно, числа публикаций. К таким "стимулам" можно отнести [1] уровень финансирования проблемы, появление новых радикальных идей и, как следствие, новых перспектив и т.п. Поэтому, в отличие от неизменного знака величины a , знак величины b может быть как положительным, так и отрицательным.

Подставив (2) и (3) в (1), получим:

$$dy/dt = k_0 y(1 - at)(N_0 - N_0 bt - y) \quad (4)$$

Принимая во внимание начальное условие $y(0) = 1$, решение уравнения (4) можно представить в виде:

$$y = \frac{\exp \left\{ k_0 N_0 \left[t - \frac{1}{2}(a+b)t^2 + \frac{1}{3}abt^3 \right] \right\}}{1 + k_0 \int_0^t (1 - at) \exp \left\{ k_0 N_0 \left[t - \frac{1}{2}(a+b)t^2 + \frac{1}{3}abt^3 \right] dt \right\}} \quad (5)$$

Решение (5) интересно тем, что при определенном соотношении параметров a , b , k_0 и N_0 знаменатель может обращаться в ноль. Можно

показать, что это свойство существенно зависит от величины b . Так, если b мало, решение (5) можно привести к виду:

$$y = \frac{N_0}{1 + (N_0 - 1) \exp \left\{ -k_0 N_0 \left[t - \frac{1}{2}(a+b)t^2 + \frac{1}{3}abt^3 \right] \right\}} \quad (6)$$

в котором ноль в знаменателе невозможен ни при каких значениях введенных параметров (с

учетом ограничения на величину b).

Рассмотрим, как предложенная модель (5)

соотносится с реальными процессами и какова ее прогностическая ценность. На рис. 2 приведены зависимости числа статей от времени и их аппроксимации согласно (5). Для каждого года определялось число публикаций по газовой хроматографии (ГХ) и по инструментальной жидкостной хроматографии (ЖХ) в журналах: "Журнал аналитической химии", "Analytical Chemistry", "Journal of Chromatography", "Journal of Chromatographic Sciences", "Chromatographia" и "Journal of High Resolution Chromatography and Chromatographic Communications". Кривая 1 рис. 2 соответствует измеренным значениям числа публикаций по ГХ, а кривая 3 — по ЖХ. Кривые 2 и 3 рассчитаны по (5) соответственно для ГХ и ЖХ. При расчетах были приняты следующие величины констант: $k_0 N_0 = 0,55$, $a = 0,033$, $b = 0,001$, $N_0 = 1000$ (ГХ) и $N_0 = 2.000$ (ЖХ). Поскольку при численной аппроксимации не ставилась задача максимального приближения аналитических кривых измеренным, кривые 2 и 4 только качественно воспроизводят ход тренда кривых 1 и 3. Тем не менее, высоты и положения максимумов кривых, а также асимптотическое приближение к нулю в 50-х — 60-х годах совпадают вполне удовлетворительно. Таким образом, можно утверждать, что модель (5) качественно соответствует исследуемому процессу.

Особый интерес представляет аналитическое продолжение кривых 2 и 4 в область позднее 1997 г., где экспериментальные точки отсутствуют, т.е. прогноз тенденций развития процесса. Анализ свойств поведения кривых 2 и 4 показал следующее. Спад числа публикаций завершается локальным минимумом, после которого кривая круто поднимается вверх, и прогнозируемые числа публикаций устремляются к бесконечности. Можно с уверенностью утверждать, что поведение модели после локального минимума не имеет прогностического интереса.

Крутизна спада и положение локального минимума на оси абсцисс главным образом определяется величиной b . Так, для $b = 0$ колоколообразная аналитическая кривая оказывается полностью симметричной. Максимум кривой

располагается на расстоянии $t = 1/a$ от начального момента времени, при котором $y = 1$. Естественно, что при $t = 2/a$ величина y снова становится равной 1. Если $(1 - bt) > 1$, т.е. внешние факторы можно рассматривать как благоприятные, ветвь развития кривой затягивается, но при $t > 3/2a$ наблюдается лавинообразный спад. Минимум при этом наступает раньше, чем для случая $b = 0$. Для $(1 - bt) < 1$ наблюдается обратный ход стадий развития и спада: первый укорачивается, а второй затягивается, и минимум наступает позже. Что же касается величины локального минимума и поведения кривой в его окрестностях, то они в сильной степени зависят от величины a . Наблюдается типичная для теории катастроф ситуация: изменение величины a на несколько процентов может привести к изменению величины локального минимума на порядки. Так, определено, что изменение a от 0,03 до 0,04 (при $b = 0,01$; $k_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ $N_0 = 1 \cdot 10^6$) приводит к изменению y_{\min} от 558.000 до $6 \cdot 10^8$. Такое поведение кривой свидетельствует о наличии бифуркации и локальной катастрофе типа "складка" (по классификации Арнольда). Это полностью исключает прогностические возможности модели, ибо наличие естественных флуктуаций в измеряемых процессах не позволяет определять константы аппроксимации с достаточной точностью. К аналогичному выводу пришел и В.И.Арнольд, использовавший математический аппарат теории катастроф [3].

Автор благодарит А.П.Щербакова и Ю.С.Музалевского за ценные советы и помощь в работе.

Работа поддержана грантом РФФИ 97-06-80163.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нахимов В.В., Мульченко З.М.* Наукометрия. 1969. М.: Наука. 192 с.
2. *Пригожин И.* От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках. 1985. М.: Наука. 328 с.
3. *Арнольд В.И.* // Природа. 1998. №4. С.3–14.

DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC-TECHNOLOGICAL REVOLUTION IS DESCRIBED BY THE LAWS OF NONLINEAR STATISTICAL PHYSICS

D.B.Arkipov

Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg

Nature and six journals on analytical chemistry have been studied scientometrically. A mathematical model describing the evolution of the number of articles with time is proposed. This model approximates satisfactorily the publication dynamics but cannot be used for prognosis because of bifurcation.