

УДК 544:519.2:691.32/.34

В.Ю. Дубницкий¹, В.Л. Чернявский²¹Харьковский банковский институт Украинской академии банковского дела НБУ²Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры

ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АБИОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Поставлена и решена общая задача оценки адаптивной изменчивости абиотических систем во внешней среде. Введено понятие замещающего процесса. Показана связь этого процесса с процессом адаптации, протекающим в реальной системе.

адаптация, абиотические системы, надпроизводная

Введение

Постановка задачи. Явление адаптации хорошо известно для различных биологических систем, систем автоматического управления, некоторых видов технических систем. В работе [1] это явление рассмотрено применительно к техногенным системам, в частности, к бетону. В работе [2] впервые сформулирован следующий принцип. Абиотические системы (объекты) обладают склонностью к структурно-функциональной адаптации, источниками которой служат ответные реакции и процессы, происходящие под действием внешней среды и результатом которых является удерживание свойств таких систем (объектов) в диапазоне значений, обеспечивающих эффективный уровень их функционального состояния.

Предварительно кратко опишем способность абиотической системы к адаптации. В простой системе (системе первого уровня по классификации, введенной в работе [3, с. 494]) адаптация связана с изменением относительно небольшого числа элементарных процессов и приспособительные возможности системы ограничены тем, что эти процессы постепенно выходят на некоторые граничные режимы. Когда «последний» из процессов выйдет на такой режим, способность системы к дальнейшей адаптации окажется исчерпанной. Очевидно, в сложной системе возможности к адаптации могут быть значительно большими, чем у простой. Адаптация обеспечивает поведенческую эластичность абиотической системы в изменяющихся условиях, а адаптационная перестройка её структуры раздвигает границы функционирования данной системы во внешней среде.

В работах, в которых рассмотрены адаптивные системы разнообразного происхождения, приведены различные критерии оценки адаптационной способности применительно к конкретным задачам, выполняемым такими системами. Анализ этих критериев показал отсутствие единого подхода к оценке адаптивности системы независимо от ее происхож-

дения, способа реализации и функционального предназначения. Что же касается качественных, а тем более количественных оценок степени адаптивной изменчивости абиотических систем, то они чрезвычайно редки и не могут претендовать на категорию общего подхода.

Анализ литературы. Определение понятия адаптации казалось бы не вызывает особенных затруднений. Однако, в работе [4] такое понятие вообще отсутствует. В работе [4] также понятие адаптации как самостоятельной ячейки словника не выделено, однако упомянуты понятия «адаптивная антенна» [5, т. 1, с. 23]; «адаптивная оптика» [5, т. 1, с. 24]; «цветовая адаптация» [5, т. 5, с. 421]. Видимо, по мнению редакции явление адаптации как таковое в самостоятельном толковании, по крайней мере в физике, не нуждается. В геологическом словаре [6] понятие адаптации определено так: «Адаптация – от латинского *adaptatio* – приспособление, процесс изменения строения и функции органов. В результате адаптации органы и организмы в целом оказываются биологически приспособленными к данным или меняющимся условиям среды». Близкую к цитированной трактовку этого понятия приводят словари [7, 8]. С аналогичных биологических позиций рассмотрено это понятие и в англоязычной литературе [9]. Уместно отметить, что этимологию понятия адаптации и, якобы, латинское написание этого слова, указанные в [6], приводят и остальные работы. В то же время в работе [10] сказано, что адаптация происходит от латинских слов “*ad-aptō*”, то есть приспособлять, прилаживать, устраивать или от “*adaptari*” – соответствовать.

Применительно к технике в работе [3, с. 14] дано такое определение: «адаптация в технике – способность технических систем или устройств приспособляться к изменяющимся внешним воздействиям или (и) к изменению функционирования». Оттуда же: [3, с. 470]: «Самоприспособляющаяся система – это система автоматического управления, которая в процессе функционирования способна изменять свое

поведение или состояние при непредвиденном изменении свойств управляемого объекта или условий окружающей среды, сохраняя свою работоспособность". Такая трактовка обобщает определение, приведенное в [11]. Учитывая изложенное с учетом сведений, приведенных в работах [6 – 9], целесообразно объединить все существующие системы в два класса: биологические системы и абиотические системы. В последнем случае, используя приставку “а-” к прилагательному или субстантивированному прилагательному, появляется возможность выделить понятия, находящиеся вне рамок исходного прилагательного. Это позволяет рассматривать с общих физических позиций процессы адаптации, протекающие в естественных и технических (технологических) системах (объектах) неживой природы.

Цель работы. Формулировка обобщенного способа количественной оценки адаптационной изменчивости абиотических, в частности, техногенных систем и установление связи между параметрами, характеризующими развитие процесса адаптации во времени и параметрами состояния исследуемой системы.

Изложение результатов

Из общих физических соображений следует, что процесс адаптации можно представить как переходный процесс, возникающий вследствие реакции системы на изменение условий, внешних по отношению к ней. Математической моделью такого процесса примем обыкновенное неоднородное дифференциальное уравнение. Адаптация системы в случае уравнения второго порядка описана в [12]. В рамках данного исследования рассмотрен, по предположению, процесс адаптации, характеризуемый уравнением первого порядка, так как в этом случае исключается периодический характер процесса, что более типично для явления приспособительной изменчивости реальных абиотических систем (объектов).

Примем, что состояние системы в момент времени t есть величина $S(t)$. Способ ее определения описан авторами ранее [13]. Тогда, на качественном уровне, изменение состояния системы в случае адаптации показано на рис. 1, где приняты следующие обозначения: $S_1(t)$, $S_2(t)$ – траектории изменения функционального состояния системы; S_{1a} , S_{2a} – значения функционального состояния системы, соответствующие времени t_{1a} , t_{2a} окончания процесса адаптации, $S_{ак}$ – значение состояния, соответствующего нижней границе безопасной работы системы.

Ввиду того, что целью работы является установление зависимости между величинами $S(t)$ и t_a вне зависимости от конкретного вида функции $S(t)$, то введем понятие замещающего процесса, характеризуемого состоянием $S(t)_{зам}$. Замещающим назо-

вем такой процесс, который описывается монотонной гладкой убывающей функцией, при этом, начиная с $t = t_a$ разница между величиной S_a и значениями замещающего процесса становится и остается меньше наперед заданной величины, которая определяется необходимой точностью измерений параметров состояния. При этом значение начального состояния замещающего процесса совпадает с величиной начального состояния исходного процесса. Это же относится к значениям функционального состояния, соответствующим времени окончания процесса адаптации t_{1a} исходного и замещающего процессов. Для процесса $S_2(t)$ замещающий процесс совпадает с исходным, для процесса $S_1(t)$ замещающий процесс показан на рис. 1 пунктиром. Такое предположение обусловлено принятой ранее и экспериментально проверенной [2] гипотезой о потенциальных свойствах оценки состояния, а именно: свойства техногенной системы, описанной в [13], зависят от разности оценок величин состояния в начальное и данное время и не зависят от траектории процесса, вызвавшего появление этой разности.

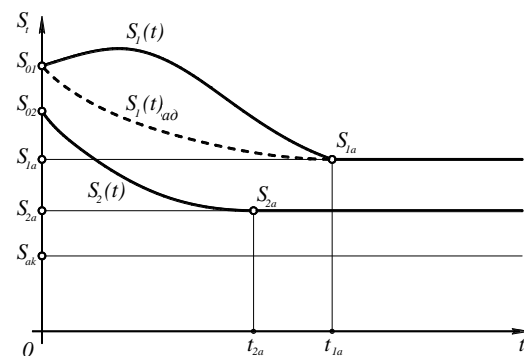


Рис. 1. Траектория изменения функционального состояния абиотической системы S_i при адаптации:

- 1 – процесс с временным улучшением $S_1(t)$;
- 2 – процесс с монотонным снижением $S_2(t)$

В качестве замещающего примем процесс вида

$$S_t - S_a = (S_0 - S_a) \exp(-t/T). \quad (1)$$

Величину $(S_t - S_a)$ назовем ресурсом адаптивности; соответственно величина $(S_0 - S_a)$ будет начальным ресурсом адаптивности.

В целях придания физичности рассуждениям введем в рассмотрение относительный уровень адаптивности $u(t)$, как показатель расходования системой ресурса адаптации к данной среде:

$$u_t = \frac{S_t - S_a}{S_0 - S_a}. \quad (2)$$

Тогда

$$u_t = \exp(-t/T). \quad (3)$$

Из выражений (1) и (3) следует, что они соответствуют сформулированным нами выше требованиям,

предъявляемым к замещающему процессу; кроме того при $t=0$, $u(0)=1$. С ростом t величина u_t неограниченно приближается к нулю, что соответствует монотонному затуханию процесса адаптации.

Величину T , имеющую размерность времени, назовем постоянной времени процесса адаптации. В этом случае показатель экспоненты (3) будет безразмерной величиной и его можно рассматривать как критерий параметрического подобия [14]. Необходимость его введения обусловлена тем, что он позволяет сравнивать между собой процессы адаптации, протекающие в системах различной природы, независимо от длительности реального времени наблюдения над объектом адаптации. Фактически величина T служит масштабным множителем, определяющим связь между продолжительностью процесса адаптации, измеренной в реальных и условных ($\tau = t/T$) единицах времени. Это положение широко применяется при проведении ускоренных испытаний по определению долговечности систем различного назначения [15, 16]. В рамках подхода, указанного в формуле (3), постоянная времени T численно равна времени, измеренному в реальных единицах, которое необходимо для того, чтобы относительный уровень текущего ресурса адаптации уменьшился до величины $u_0 \exp(-1)$. Это следует из того, что при $t = T$ показатель экспоненты равен единице. Влияние величины T на относительный уровень адаптивности $u(t)$ показано на рис. 2, а соответствующие предельные свойства приведены в таблице.

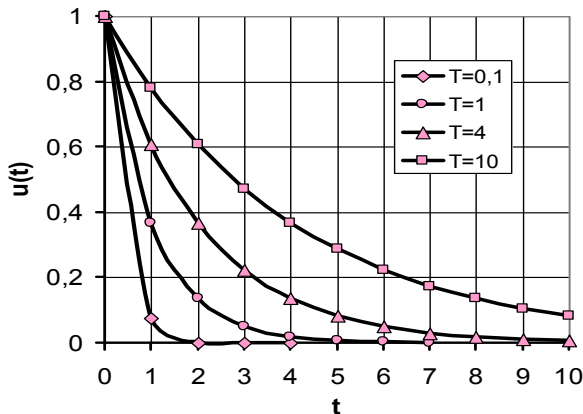


Рис. 2. Влияние величины t на относительный уровень адаптивности $u(t)$

Таблица

Предельные свойства величины относительного уровня адаптивности

Предельные свойства величины $u(t)$	
по переменной t	по параметру T
$\lim_{t \rightarrow 0} \exp(-t/T) = 1$	$\lim_{T \rightarrow 0} \exp(-t/T) = 0$

$\lim_{t \rightarrow \infty} \exp(-t/T) = 0$	$\lim_{T \rightarrow \infty} \exp(-t/T) = 1$
--	--

Вклад переменных t и T в общее приращение величины u_t определим

$$\frac{\partial u_t}{\partial t} = -\frac{1}{T} e^{-t/T}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial u_t}{\partial T} = \frac{t}{T^2} e^{-t/T}. \quad (5)$$

Тогда полный дифференциал функции (3) будет

$$du_t = \tau e^{-\tau} \left(\frac{dT}{T} - \frac{dt}{t} \right); \quad (6)$$

или в окончательном виде:

$$du_t = \tau e^{-\tau} (d \ln T - d \ln t). \quad (7)$$

Полученное выражение дает возможность оценить вклад в изменение величины u_t инерционных свойств системы, являющихся функцией величины постоянной времени T и естественных динамических свойств, описываемых функцией реального времени t .

В работах [2, 15] понятие состояния сложной физико-химической системы использовано для прогнозирования ее стойкости при взаимодействии с внешней средой. Существенным для такого прогнозирования является предположение о постоянстве скорости уменьшения величины $u(t)$.

Ввиду того, что в действительности такого рода процессы неравномерны, то представляет интерес оценка этого допущения. В работе [17] для оценки отклонения величины скорости от постоянной предложено использовать надпроизводную $u^*(t)$ функции $u(t)$, определяемую по правилу:

$$u^*(t) = \exp \left(\frac{t}{u(t)} \frac{du}{dt} \right). \quad (8)$$

Выполнив необходимые преобразования, получим

$$u^*(t) = -t/T. \quad (9)$$

Очевидно, что правая часть (9) есть показатель экспоненты, характеризующей замещающий процесс (3). Попутно заметим, что натуральный логарифм (8) совпадает с дивидрой второго рода, введенной в [18, с. 61] для определения средней скорости процесса.

Выводы

1. Предложена модель процесса адаптации абиотических систем естественного и технического происхождения в виде интегральной кривой обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка.

2. Установлена связь параметров модели и характеристик реально протекающего процесса адаптации. Показано существование критерия параметрического подобия, позволяющего сравнивать в

условных единицах времени развитие процессов адаптации в системах различной природы.

Список литературы

1. Чернявский В.Л. Принцип адаптивности в строительном материаловедении // *Строительные материалы: наука*. – 2006. – № 7. – С. 24-27.
2. Чернявский В.Л. Адаптация бетона. – Днепропетровск: Нова Ідеологія, 2002. – 116 с.
3. Новый политехнический словарь / Гл. ред. А.Ю. Ишлинский. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2000. – 621 с.
4. Химическая энциклопедия в пяти томах / Гл. ред. И.Л. Кнунянц. – М.: Советская энциклопедия, 1958. – Т. 1. – 708 с.
5. Физическая энциклопедия в пяти томах / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1988. – Т. 1. – 704 с.
6. Геологический словарь / А.-Л. Под общ. ред. А.Н. Криштофовича. – М.: Гос. из-во лит-ры по геологии и охране недр, 1955. – Т. 1. – 467 с.
7. Биологический энциклопедический словарь / Гл. ред. М.С. Гиляров. – М.: Сов. Энциклопедия, 1986. – 831 с.
8. Російсько-українсько-латинський словник медичних термінів (біохімія, фізіологія, хімія) / За ред. В.Г. Коляденко, Ю.В. Шаніна. – К.: Здоров'я, 1992. – 307 с.
9. Бреннан Р. Словарь научной грамотности. – М.: МИР, 1997. – 368 с.
10. Дворецкий И.Х. Латинско-русский словарь. – М.: Русский язык, 1976. – 1096 с.
11. Энциклопедия кибернетики / Под ред. В.М. Глушкова. – К.: Украинская Советская энциклопедия, 1975. – Т. 1. – 610 с.
12. Сенюк Е.Б., Ясинская Л.И. Системные и статистическое компьютерное моделирование периодических физиологических ритмов с помощью косинор-анализа // *Кибернетика и системный анализ*. – 2006. – № 2. – С. 94-103.
13. Дубницкий В.Ю., Чернявский В.Л. Определение параметрической чувствительности оценки состояния сложной физико-химической системы, взаимодействующей с внешней средой // *Системы обработки информации*. – Х.: ХУПС, 2005. – Вып. 3 (43). – С. 184-189.
14. Лежнюк П.Д., Бобчук Н.В. Параметрична подібність в задачах оптимізації електричних систем. – Вінниця: Універсам, 2006. – 123 с.
15. Дубницкий В.Ю., Чернявский В.Л. Прогнозирование стойкости бетона при сложных агрессивных воздействиях на основе оценки величины коррозионного состояния // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. – 1990. – № 1. – С. 122-125.
16. Переверзев Е.С., Чумаков Л.Д. Параметрические модели отказов и методы оценки надежности технических систем. – К.: Наук. думка, 1989. – 184 с.
17. Котляр В.Ю. Об относительной скорости изменения функции // *Кибернетика и системный анализ*. – 1999. – № 4. – С. 160-165.
18. Литвин О.М. Дивідріальні та мультигральні числення. – К.: Наук. думка, 2006. – 144 с.

Поступила в редколлегию 2.10.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Е.А. Артеменко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.