

УДК 536.1:577.3(075.8):532.516

Долинский А.А.¹, Драганов Б.Х.²,
Халатов А.А.¹¹Институт технической теплофизики НАН Украины²Национальный аграрный университет Украины

АНАЛОГИЯ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА В ЖИВОМ МИРЕ И ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Наведено аналіз аналогії аеродинаміки і теплообміну при обтіканні поверхні зі сферичними поглибленнями тіла живих істот та технічних пристроїв.

Приведен анализ аналогии аэродинамики и теплообмена при обтекании поверхности со сферическими углублениями тела живых существ и технических устройств.

The analysis is given considering analogy of aerodynamic and heat transfer processes in the life world and engineering.

C_D – коэффициент сопротивления;
 f – гидравлическое сопротивление;
 Nu – число Нуссельта;
 K – энтропия Колмогорова;
 Re_η – число Рейнольдса;
 r – естественная координата;
 S – энтропия;
 t – время;
 W – термодинамическая вероятность состояния;

X_i – макроскопическая переменная;
 λ – управляющий параметр;
 ω – элементарное событие.

Индексы:

0 – начальное значение;
 i – номер макроскопического параметра;
 ген – генетический;
 к – компонент;
 сам – самоорганизация.

В последние два-три десятилетия проводятся обширные исследования в области саморазвивающихся систем, которые характеризуются иерархией уровней и появлением по мере их развития новых уровней, воздействующих на ранее сложившиеся и видоизменяющих их. Важнейшими характеристиками самоорганизующихся систем являются их нелинейность, стохастичность, наличие большого числа подсистем, открытость, необратимость [1].

Неравновесность приводит к возникновению структур нового типа – диссипативных структур, весьма важных для понимания когерентности и организации в неравновесном мире. После того, как один из путей развития системы выбран и на смену неустойчивости устанавливается новый порядок, в силу снова вступает детерминизм до тех пор, пока вследствие усиления флуктуаций не возникает новая форма бифуркации [2]. Действие стохастических и детерминированных преобразований переводит систему из исходных состо-

яний в новые, при этом определится, какие именно новые конфигурации реализуются. Эти процессы присущи всем необратимым явлениям, в том числе биологическим.

Более того, в последнее время введено понятие глобального эволюционизма [3], характеризующего экстраполяцию идей, получивших обоснование в биологии и химии, во все сферы действительности и рассмотрение неживой, живой и социальной материи как единого универсального процесса. Это обусловлено тем, что все структуры в процессе связаны и взаимозависимы.

Глобальный принцип эволюции системы определяется происходящими флуктуациями. Модели «порядок через флуктуации» позволяют по И. Пригожину [1, 2] раскрыть перед нами неустойчивый мир, в котором малые причины порождают большие следствия. Накопленные факты свидетельствуют о возникновении порядка из хаоса, образовании новых структур и самоорга-

низации приемлемых процессов не только в живых, но и в неорганических системах. Проводимые в 50-е годы Б.И. Белоусовым и А.М. Жаботинским эксперименты с самоорганизующимися химическими реакциями послужили основой для построения И. Пригожиным и его школой математической модели самоорганизующихся процессов.

Рассмотрим общее свойство уравнения эволюции диссипативной системы. Обозначим полный набор макроскопических переменных такой системы через X_1, \dots, X_n . Эволюция этих переменных во времени будет описываться системой уравнений

$$\frac{\partial X_i}{\partial t} = F_i(X_1, \dots, X_n, r, t, \dots) . \quad (1)$$

Здесь функции F_i могут столь угодно сложным образом зависеть от переменных X и их пространственных характеристик и явным образом — от пространственных координат r и времени t .

На эволюцию влияет изменение некоторых характерных для данной задачи параметров, которые могут изменяться внешним миром. Эти параметры могут называться управляющими. Обозначим их через λ и запишем уравнение (1) в виде

$$\frac{\partial X_i}{\partial t} = F_i[(X), \lambda] . \quad (2)$$

Для случая равновесного процесса будем иметь

$$F_i[(X), \lambda] = 0 . \quad (3)$$

Эти соотношения налагают определенные ограничения. Например, законы эволюции должны быть таковы, чтобы выполнялось требование положительности температуры или химической концентрации.

В случае консервативной системы решение уравнения (2) не представляет трудностей: эволюция целиком диктуется начальными условиями. В случае диссипативных систем поиск критериев эволюции связан с трудностями.

Движущая сила эволюции обусловлена вторым началом термодинамики и конкретно принципом максимума производства энтропии.

Как известно, энтропия S определена как логарифм числа W возможных состояний системы при заданных условиях:

$$S = - K \ln W. \quad (4)$$

Это выражение характеризует меру количества информации в системе при заданных признаках и условиях. Поскольку энтропия определяется через логарифмическую функцию, она аддитивна. То обстоятельство, что энтропия одновременно и физическая переменная, и мера информации, является ее особенностью.

Главная особенность жизни, как открытой термодинамической системы в том, что внешняя среда взаимодействует с ее формами и процессами на основе синтеза информации путем изменения нормировки энтропии. Поскольку синтез информации есть изменение признаков и условий в определении энтропии, отличительной особенностью синтеза генетической информации является иерархичность [3–5]. Это означает, что каждый раз изменение признаков и условий создает локальный путь отсчета энтропии. Морфологическая иерархичность — это все более укрупняющийся симбиоз.

Энтропия k -го вида живого записывается так:

$$S_k = S_{k, \text{ген}} + S_{k, \text{сам}}, \quad (5)$$

где $S_{k, \text{ген}}$ — сумма меры генетической информации; $S_{k, \text{сам}}$ — мера информации о процессах самоорганизации, для которых свойства элементов системы задает величина $S_{k, \text{ген}}$.

Ценность генетической информации Z_k показывает во сколько раз уменьшается количество информации при переходе к следующей ступени иерархии синтеза информации.

Следует отметить одну особенность эволюции всего живого. Для живых систем характерно превышение производства энергии над ее диссипацией, а избыток энергии аккумулируется в виде «отходов» или функционально используемой массы, например, мышечной [4]. Это наблюдается на всех ступенях эволюции, для всех видов живого. Жизнь без механизма производства энергии для метаболизма существовать не может.

Для динамических явлений А.Н. Колгоров, используя идеи теории информации, ввел поня-



Рис. 1. Фото летающего насекомого.

тие динамической энтропии, называемой также K -энтропией, обозначаемой через h [6]. K -системы определены Колмогоровым как квазирегулярные, чем подчеркивается аналогия с регулярными случайными процессами. Существенным развитием K -системы явилась более специальная теория Д. Орнштейна [7], в которой используются вспомогательные случайные процессы. Случайный стационарный процесс можно рассматривать как процесс $\{X_t(\omega)\}$, пространством элементарных событий которого служит пространство Ω выборочных функций ω . Заметим, что выборочная функция – это функция $X_t = X_t(\omega)$ аргумента t , однозначно соответствующая каждому наблюдению случайного процесса $X_t \in E$, $t \in T$, где $\omega = \Omega$ – множество элементарных событий. Случайный процесс X_t характеризуется вероятностной мерой в пространстве выборочной функции.

K -энтропия как мера степени неопределенности случайной величины в динамических системах может служить основой для более глубокого анализа процесса эволюции.

Рассматриваемые системы являются сложноорганизованными, к тому же обладающими иерархической структурой. При этом переход на более высокий уровень сопровождается уменьшением числа степеней свободы. Более высокий уровень получает «снизу» селективную информацию и в свою очередь управляет динамикой на более низком уровне с помощью упреждающей связи.

Изменение системы имеет место, когда она теряет устойчивость, претерпевая дискретную серию бифуркаций или переходя иерархически из одного состояния в другое.

Эволюция всегда направлена на оптимальное решение задачи функционирования живого существа. Таких циклов можно привести множество. Рассмотрим фотографию летающего насекомого, сделанную инженером А.В. Лисовским в Киевской области (рис. 1). Как видно, поверхность насекомого покрыта регулярными углублениями сферической формы, что способствует улучшению аэродинамических характеристик в условиях полета.

Голова насекомого близка по форме к шару и напоминает поверхность мяча для игры в гольф. Как известно, нанесение углублений на поверхности мяча для игры в гольф смещает точку ламинарно-турбулентного перехода вниз по потоку, сокращает зону отрыва потока за ним и, как результат, снижает коэффициент аэродинамического сопротивления (рис. 2). Что касается поверхности насекомого, то образование углублений в процессе эволюции обусловлено отрывным обтеканием тела насекомого при работе его крыльев и полете при больших углах атаки. Наличие углублений позволяет автоматически управлять зоной отрыва потока и уменьшать аэродинамическое сопротивление корпуса.

Обнаруженные аэродинамические особенности обтекания поверхностей с поверхностными углублениями широко используются в техниче-

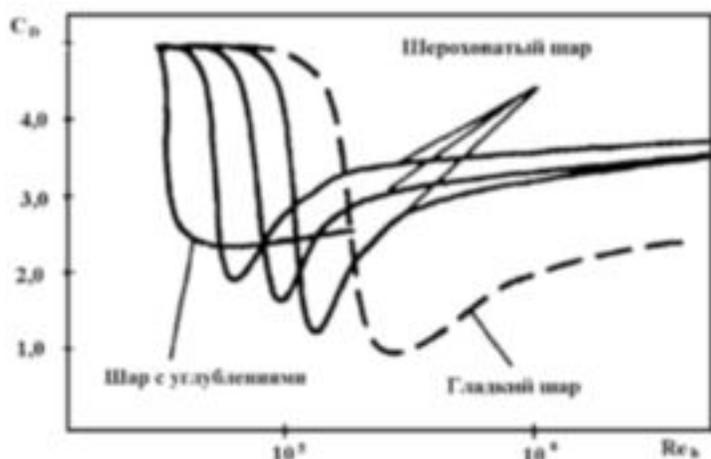


Рис. 2. Коэффициент сопротивления гладкого и шероховатого шаров, а также шара с углублениями.



Рис. 3. Поверхность со сферическими углублениями.

ких приложениях [8–10]. Факт положительного влияния поверхностных углублений на теплообмен и гидравлическое сопротивление обнаружен при исследовании плоских каналов с многорядными углублениями (рис. 3) на стенках канала.

В исследованиях российских ученых было обнаружено, что сферические углубления генерируют пульсирующие вихри особой природы. Выходя из углубления, такие вихри разрушают пограничный слой между соседними углублениями и меняют ориентацию множества мелких турбулентных вихрей в направлении основного вихря, прерывая тем самым каскадный механизм диссипации турбулентности. Формируемые вихревые структуры «абсорбируются» основным потоком практически без потерь давления, что создает условия для опережающего роста теплообмена по сравнению с сопутствующим увеличением гидравлических потерь. Это обеспечивает оптималь-

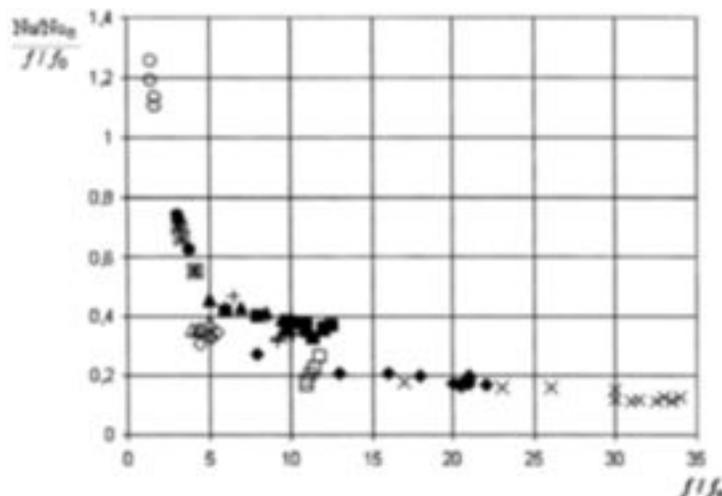


Рис. 4. Зависимость фактора аналогии Рейнольдса от относительных потерь давления [10].

ное сочетание таких не простых явлений как теплообмен и аэродинамика воздушного потока [9]. В ряде случаев при внешнем обтекании система поверхностных вихрей формирует вихревую «сетку» на поверхности, что характеризует самоорганизацию вихревой системы.

Рассмотрим соотношение между переносом теплоты и сопротивлением. Для оценки теплогидравлической поверхности используем фактор аналогии Рейнольдса

$$\eta = (Nu / Nu_0) / (f / f_0), \quad (6)$$

где Nu, f — число Нуссельта и коэффициент сопротивления поверхности с углублениями; Nu_0, f_0 — то же для гладкой поверхности. В формуле (6): Nu/Nu_0 — стандартное представление интенсификации теплообмена; f/f_0 — стандартное представление увеличения гидравлических потерь.

На рис. 4 результаты выполненных ранее исследований представлены в виде зависимости фактора аналогии Рейнольдса от относительных потерь сопротивления. Эти данные соответствуют «узким» каналам с углублениями на обеих сторонах и каналам с выступами различной формы в поперечном сечении канала. Как следует из рисунка, все опытные данные характеризуются единой зависимостью, т.е. имеет-

ся однозначная связь между интенсификацией теплообмена и относительными потерями давления.

Из представленных опытных данных можно сделать заключение, что наиболее высокими значениями фактора аналогии Рейнольдса (больше единицы) характеризуются каналы без загромождения поперечного сечения в области низких чисел Рейнольдса. Здесь интенсификация теплообмена опережает сопутствующий рост гидравлического сопротивления, что может быть использовано в технических устройствах. Это обусловлено тем, что вихри, формируемые поверхностными углублениями по-разному воздействуют на перенос теплоты и импульса.

Живые существа часто являются примером того, как надо создавать технические устройства и находить оптимальные решения. Хотя наши возможности воздействия на природу незначительны, но учиться у нее во многих случаях возможно.

Выводы

Аэродинамика и теплообмен на поверхности живых существ часто являются примером для создания технических устройств. Изучая закономерности эволюции живых существ, можно заимствовать оптимальные инженерные решения у природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пригожин И.* Введение в термодинамику необратимых процессов. — М.: ИЛ, 1960. — 127 с.
2. *Пригожин И.* От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках. — М.: Наука, 1985. — 327 с.
3. *Николис Дж.* Динамика иерархических систем: эволюционное представление. — М.: Мир, 1989. — 488 с.
4. *Хазен А.М.* Происхождение и эволюция жизни и разума с точки зрения синтеза информации // *Биофизика*. — 1922. — Т. 37, вып. 1. — С. 105–121.
5. *Драганов Б.Х., Мельничук М.Д.* Термодинамика фотосинтеза. — К.: Фірма “ІНКОС”, 2006. — 64 с.
6. *Колмогоров А.Н.* // *ДАН СССР*. — 1958. — Т. 119. — С. 861.
7. *Орнштейн Д.* Э르고дическая теория, случайность и динамическая система. — М.: Мир, 1978.
8. *Борисов И.И., Халатов А.А., Кобзарь С.Г.* Теплообмен и сопротивление в щелевых каналах со сферическими углублениями и дистанционирующими элементами // *Пром. теплотехника*. — 2005. — Т. 27, № 5. — С. 10–17.
9. *Халатов А.А., Борисов И.И., Шевцов С.В.* Теплообмен и гидродинамика центробежных массовых сил. Том 5. Тепломассообмен и теплогидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. — К.: ИТТФ НАН Украины, 2005. — 500 с.
10. *Онищенко В.Н., Халатов А.А., Коваленко А.С.* Теплогидравлическая эффективность плоских каналов с поверхностными генераторами вихрей и выступами // *Пром. теплотехника*. — 2006. — Т. 28, № 6. — С. 5-14.

Получено 07.08.2007 г.