

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МЕТОДА АНАЛОГИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Колесников В. А., Юров В. М.

*Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова, 100028, Караганда, ул. Университетская 28, Казахстан, e-mail: kolesnikov.vladimir@gmail.com*

**В работе рассмотрены некоторые аспекты метода аналогий, в частности термодинамический, физический и экономический вопросы и их применение к проектированию различных информационно-измерительных систем. Построены наглядные аналогии между термодинамическими, информационно-измерительными и микроэкономическими системами. Получены формулы для оценки эффективности проектирования информационно-измерительных систем, в частности математические выражения, которые можно использовать для выбора процессора при проектировании информационно-измерительных систем и оценить потерю информации. Показано, что объем памяти процессора определяется, в основном, произведением количества информации, поступающей от исследуемого объекта и точности информационно-измерительной системы.**

**Ключевые слова:** метод аналогий, термодинамика, физика, экономика, формула, информационно-измерительная система.

## SOME ASPECTS OF A METHOD OF ANALOGIES IN DESIGNING OF INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

Kolesnikov V. A., Jurov V. M.

*Karaganda state university of E. A. Buketov, 100028, Karaganda, street University 28, Kazakhstan, e-mail: kolesnikov.vladimir@gmail.com*

**The paper discusses some aspects of the method of analogy, in particular thermodynamic, physical and economic issues and their application to the design of a variety of information-measuring systems. Constructed visual analogy between thermodynamic, information-control and micro systems. The formulas for evaluating the effectiveness of the design information-measuring systems, such as mathematical expressions that can be used to select the processor when designing information-measuring systems and assess the loss of information. It is shown that the amount of memory the processor is mainly determined by the product of information from the object of study and the accuracy of information-measuring system.**

**Keywords:** analogue method, thermodynamics, physics, economics, claims, information and measuring system.

### Введение

Дж. Максвелл сопоставил созданную им классическую теорию электромагнетизма с гидродинамикой несжимаемых жидкостей и подчеркнул значение такого подхода в науке [7]: В седьмом томе знаменитых фейнмановских лекций по физике глава 12 полностью посвящена электростатическим аналогиям. В настоящее время мы имеем примеры использования физических аналогий для описания процессов различной природы. Так, например, энтропийные модели успешно применяются при анализе процессов миграции населения, обмена и распределения экономических ресурсов и др. [2]. Идеи и методы гидродинамики, нелинейных волновых процессов использовались при построении теории транспортных потоков в больших городах [8]. В [6, 11–12] метод аналогий применялся для анализа процессов в гетерогенных средах. В настоящей работе рассмотрены некоторые вопросы метода аналогий и его применение к информационно-измерительным системам.

## Метод аналогий, термодинамика, физика, экономика

В табл. 1 показана аналогия, существующая между величинами в различных скалярных потенциальных полях [1], а в табл. 2 – аналогия между электрическими и акустическими переменными и параметрами [3].

Таблица 1. Аналогия между величинами в потенциальных полях [1]

| Параметр                 | Электростатическое поле                  | Электрического тока поле              | Магнитостатическое поле            | Тепловое поле                  |
|--------------------------|--|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Потенциал                | Потенциал $U$                            | Потенциал $U$                         | Потенциал $\Omega$                 | Температура $T$                |
| Градиент                 | Напряженность электрического поля $E$    | Напряженность электрического поля $E$ | Напряженность магнитного поля $H$  | Градиент температуры $gradT$   |
| Постоянная свойств среды | Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ | Электрическая проводимость $\sigma$   | Магнитная проницаемость $\mu$      | Температуропроводность $a$     |
| Плотность потока         | Электрическое смещение $D$               | Плотность тока $j$                    | Магнитная индукция $B$             | Плотность теплового потока $q$ |
| Интенсивность источника  | Плотность заряда $\rho_e$                | Плотность тока $j$                    | Плотность магнитной массы $\rho_m$ | Плотность источника тепла $Q$  |
| Проводимость поля        | Емкость $C$                              | Электрическая проводимость $G$        | Магнитная проводимость $\Lambda$   | Тепловая проводимость          |

Таблица 2. Аналогия между электрическими и акустическими переменными и параметрами [3]

| Электрическая система | Акустическая система              |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Напряжение $U$        | Давление $P$                      |
| Ток $I$               | Скорость частиц $v$               |
| Заряд $e$             | Смещение $u$                      |
| Индуктивность $L$     | Плотность среды $\rho$            |
| Емкость $C$           | Акустическая емкость $C_A=1/\tau$ |
| Сопротивление $R$     | Акустическое сопротивление $R_A$  |

В последние годы число работ по использованию методов термодинамики в экономике начало резко возрастать. Как отмечают швейцарские ученые А. Краузе и Р. Райхлин: «Сходство между макроэкономикой и термодинамикой поражает. Перспектива использования достижений термодинамики в исследованиях по экономике представляется многообещающей...» [5]. В работах Меркулова В. И. методы термодинамики применяются к экономическим процессам [9]. В. М. Сергеев публикует монографию: «Пределы рациональности. Термодинамический подход к проблеме экономического равновесия» [10]. Вернемся теперь к методу аналогий. В работе [5] предлагается следующая аналогия между термодинамикой и экономикой (таблица 3).

Таблица 3. Сравнение понятий термодинамики и экономики [5]

|               |   |
|---------------|---|
| Термодинамика | Экономика   |
| Энергия       | Потенциальные материальные приобретения                                   |
| Энтропия      | Вариативность материальных приобретений                                   |
| Температура   | Размер потенциальных материальных приобретений                            |
| Давление      | Готовность индивидов к разработке потенциальных материальных приобретений |
| Сила          | Индивиды, стремящиеся к материальным приобретениям                        |
| Работа        | Реализованные материальные приобретения                                   |
| Тепло         | Потери при распределении  |

В монографии А. М. Цирлина [10] приводится аналогия между термодинамикой и микроэкономической системой (таблица 4).

Таблица 4. Аналогии между термодинамическими и микроэкономическими системами и характеризующими их переменными [10]

| Термодинамическая система          |                     | Микроэкономическая система |                   |
|------------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| Название                           | Обозначение         | Название                   | Обозначение       |
| Резервуар (обратимый теплообмен)   | $T$                 | Экономический резервуар    | $p$               |
| Резервуар (необратимый теплообмен) | $q = \alpha(T-T_0)$ | Монопольный рынок          | $n = \alpha(c-p)$ |
| Количество вещества                | $N$                 | Запас ресурса              | $N$               |
| Химический потенциал               | $H(N)$              | ЭА, оценка ресурса         | $p(N)$            |
| Тепловая машина, температура       | $T(t)$              | Цена                       | $c(t)$            |
| Свободная энергия, работа          | $A$                 | Базисный ресурс            | $M$               |
| Работоспособность системы          | $E$                 | Прибыльность системы       | $E$               |
| Энтропия системы                   | $S$                 | Связанный капитал          | $F$               |
| Производство энтропии              | $\sigma$            | Диссипация капитала        | $\sigma$          |
| Внутренняя энергия                 | $U$                 | Полный капитал             | $U=M+F$           |

Различия между таблицами 3 и 4 связаны: во-первых, с различием между макроэкономической и микроэкономической системами; во-вторых, с различным подходом при выявлении аналогий. А. Краузе и Р. Райхлин исходили в своих рассуждениях из цикла Карно, а А.М. Цирлин – из второго начала термодинамики. Однако, как и в случае аналогии между потенциальными полями (см. таблицу 1), можно провести такую же аналогию и для таблиц 3 и 4 (таблицы 5 и 6).

Таблица 5. Аналогии между термодинамическими и микроэкономическими системами и характеризующими их переменными

| Термодинамическая система          |                     | Микроэкономическая система |                   |
|------------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| Название                           | Обозначение         | Название                   | Обозначение       |
| Резервуар (обратимый теплообмен)   | $T$                 | Экономический резервуар    | $p$               |
| Резервуар (необратимый теплообмен) | $q = \alpha(T-T_0)$ | Монопольный рынок          | $n = \alpha(c-p)$ |
| Количество вещества                | $N$                 | Запас ресурса              | $N$               |
| Химический потенциал               | $H(N)$              | ЭА, оценка ресурса         | $p(N)$            |
| Тепловая машина, температура       | $T(t)$              | Цена                       | $c(t)$            |
| Свободная энергия, работа          | $A$                 | Базисный ресурс            | $M$               |
| Работоспособность системы          | $E$                 | Прибыльность системы       | $E$               |
| Энтропия системы                   | $S$                 | Связанный капитал          | $F$               |
| Производство энтропии              | $\sigma$            | Диссипация капитала        | $\sigma$          |
| Внутренняя энергия                 | $U$                 | Полный капитал             | $U=M+F$           |

Таблица 6. Аналогии между термодинамическими, макроэкономическими и микроэкономическими системами

| Термодинамика                     | Макроэкономика                                 | Микроэкономика                  |
|-----------------------------------|--|---------------------------------|
| Энергия<br>$A$                    | Потенциальные материальные приобретения        | Базисный ресурс<br>$M$          |
| Энтропия<br>$S$                   | Вариативность материальных приобретений        | Связанный капитал<br>$F$        |
| Температура<br>$T(t)$             | Размер потенциальных материальных приобретений | Цена<br>$c(t)$                  |
| Работа<br>$E$                     | Реализованные материальные приобретения        | Прибыль<br>$E$                  |
| Производство энтропии<br>$\sigma$ | Потери при распределении                       | Диссипация капитала<br>$\sigma$ |

Используя данные таблиц 1–6, мы можем построить следующую аналогию между полем электрического тока, термодинамикой и микроэкономикой (таблица 7).

Таблица 7. Аналогии между термодинамическими, электрическими и микроэкономическими системами

| Термодинамика | Электрического тока поле | Микроэкономика |
|---------------|--------------------------|----------------|
|---------------|--------------------------|----------------|

|                                |   |  |
|--------------------------------|---|--|
| Энергия<br>$A$                 | Энергия поля<br>$A = CU^2/2$            | Базисный ресурс<br>$M = \alpha c^2(t)/2$ |
| Энтропия<br>$S$                | Энтропия поля<br>$S = NU^2/2kT^2$       | Связанный капитал<br>$F = \beta M/c(t)$  |
| Температура<br>$T(t)$          | Потенциал<br>$U(t) = U_0 \sin \omega t$ | Цена<br>$c(t) = c_0 \sin \omega t$       |
| Производство энтропии $\sigma$ | Производство энтропии<br>$\sigma = S/t$ | Диссипация капитала<br>$\sigma = F/t$    |

### Метод аналогий и информационно-измерительные системы

Информационно-измерительные системы (ИИС) – это комплекс измерительных устройств, обеспечивающих одновременное получение человеком-оператором или ЭВМ необходимой информации о свойствах и состоянии какого-либо объекта [7]. Структурная схема любой ИИС может быть представлена так, как это показано на рисунке 1. Датчики воспринимают различные параметры объекта измерения, унифицирующие преобразователи унифицируют и передают по каналам связи сигналы датчиков в единый пункт сбора данных. Программное устройство воспринимает информацию датчиков и передаёт её получателю информации. По такой схеме строятся практически все ИИС, включая современные системы передачи информации со спутников и автоматических межпланетных станций.

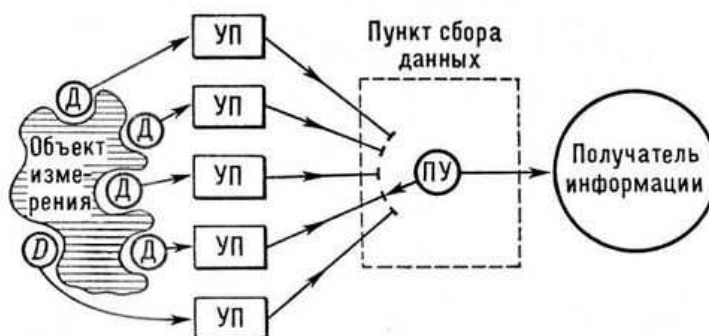


Рисунок 1. Структурная схема информационно-измерительной системы [7]

Построим теперь таблицу аналогий между термодинамикой, ИИС и микроэкономикой (таблица 8).

Таблица 8. Аналогии между термодинамическими, ИИС и микроэкономическими системами

| Термодинамика                   | ИИС                                 | Микроэкономика                |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Свободная энергия, работа, $A$  | Объем памяти, $W$                   | Базисный ресурс, $M$          |
| Количество вещества, $m$        | Число датчиков (каналов связи), $n$ | Запас ресурса, $N$            |
| Энтропия, $S$                   | Количество информации, $I$          | Связанный капитал, $F$        |
| Температура, $T(t)$             | Точность ИИС<br>$\Delta$            | Цена, $c(t)$                  |
| Производство энтропии, $\sigma$ | Производство информации, $\sigma$   | Диссипация капитала, $\sigma$ |

|                                     |                           |                         |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Коэффициент полезного действия, КПД | Эффективность ИИС, $\eta$ | Прибыльность системы, Р |
| Внутренняя энергия, U               | Энергоемкость ИИС, E      | Полный капитал, U=M+F   |

Рассмотрим некоторые примеры использования таблицы 8. Наиболее важным параметром ИИС (да и для любой системы) является ее эффективность  $\eta$ . В термодинамике она соответствует коэффициенту полезного действия тепловой машины:

$$\text{КПД} = 1 - T_n / T_x, \quad (1)$$

где  $T_n$  и  $T_x$  – температуры нагревателя и холодильника, соответственно.

Для ИИС уравнение (1) будет выглядеть так:

$$\eta = 1 - \Delta_{\text{вх}} / \Delta_{\text{вых}}, \quad (2)$$

где, согласно таблице 8,  $\Delta_{\text{вх}}$  и  $\Delta_{\text{вых}}$  – входная и выходная точность ИИС, соответственно. Первая определяется чувствительностью датчика, а вторая – чувствительностью датчика и параметрами унифицирующего преобразователя (рисунок 1). Из формулы (2) следует, что эффективность ИИС в значительной степени определяется структурой и параметрами УП и ПУ (рисунок 1).

Если в качестве функции отклика  $\Phi$  из [6] взять эффективность ИИС  $\eta$ , то получим:

$$\eta = \frac{kT}{C} \cdot \frac{A}{G^0} \cdot m, \quad (3)$$

где  $A$  – работа (энергия),  $T$  – температура,  $G^0$  – потенциал Гиббса,  $m$  – количество вещества,  $k$  – постоянная Больцмана,  $C$  – постоянная.

Используя таблицу 8, мы получаем следующее выражение для эффективности ИИС:

$$\eta = C_1 \frac{nW\Delta}{W - I\Delta}. \quad (4)$$

Здесь  $C_1 = \text{const}$ . Предельное значение  $\eta=1$  и из формулы (4) следует:

$$W = \frac{I \cdot \Delta}{1 - C_1 n \Delta}. \quad (5)$$

Формула (5) определяет правило выбора процессора при проектировании ИИС. Из нее следует, что объем памяти процессора определяется, в основном, произведением количества информации, поступающей от исследуемого объекта и точности ИИС. Последняя, как правило, обратно пропорциональна отношению сигнал / шум и стремится к оптимальному значению при снижении уровня шума. Отметим, что правильный выбор процессора определяет в большей степени стоимость разрабатываемой ИИС. Рассмотрим еще один пример. Вероятность диссипативных процессов в термодинамической системе в большинстве случаев определяется законом Аррениуса:

$$p = v \exp(-Q/kT), \quad (6)$$

где  $v=1/\tau$ ,  $\tau$  – время релаксации;  $Q$  – энергия активации.

Для ИИС  $\tau$  – время срабатывания системы, а  $Q = A = W$ . С учетом (5), получим:

$$p = \frac{1}{\tau} \exp\left(-\frac{\alpha I}{1 - C_1 n \Delta}\right), \quad (7)$$

где  $\alpha$  – коэффициент размерности.

Из формулы (7) следует, что потеря информации в ИИС тем меньше, чем больше время измерения  $\tau$  и больше количества информации  $I$  от объекта. Необходимо сделать следующее замечание. Действительно, как это следует из (7), замедление переходного процесса (т.е. при увеличении  $\tau$ ), вероятность диссипативных процессов уменьшается. Однако на практике такой путь неприемлем, и, наоборот, современные и будущие ИИС должны обладать большим быстродействием для передачи большого массива информации.

В настоящей работе мы стремились показать не только новый подход при анализе проектирования и создания ИИС, но и возможности их разработки, используя полученные выше формулы.

*Работа выполнена по программе МОН РК 055 «Научная и / или научно-техническая деятельность», подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований». Контракт № 1932.*

### Список литературы

1. Бинс К., Лауренсон П. Анализ и расчет электрических и магнитных полей. – М.: Энергия, 1970. – 376 с
2. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М: Наука, 1978. – 246 с.
3. Краузе А., Райхлин Р. Экономика как необратимая (нереверсивная) термодинамическая система // <http://finansbibl.ru/bibl/biblioteka/1.htm>.
4. Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. – М.: Гостехиздат, 1954. – С. 12.
5. Меркулов В. И. Опыт применения термодинамических методов в экономике // [www.cemi.rssi.ru/emm/abst38.htm](http://www.cemi.rssi.ru/emm/abst38.htm).
6. Портнов В. С., Юров В. М. Связь магнитной восприимчивости магнетитовых руд с термодинамическими параметрами и содержанием железа // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 2004. – № 6. – С. 122–126.
7. Ранеев Г. Г. Измерительные информационные системы. – М: Изд-во МГОУ, 2003. – 536 с.
8. Семёнов В. В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса // Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. – М.: 2004. – 32 с.

9. Сергеев В. М. Пределы рациональности. Термодинамический подход к проблеме экономического равновесия. – М: Изд-во Фазис, 1999. – 146 с.
10. Цирлин А. М. Математические модели и оптимальные процессы в макросистемах. – М.: Наука, 2006. – 500 с.
11. Юров В. М., Ещанов А. Н., Портнов В. С, Математические модели электропроводности твердых тел // Материалы III межд. конф. «Математическое моделирование и информационные технологии в образовании и науке». – Алматы, 2005. – Т. 1. – С. 234–237.
12. Яворский В. В., Юров В. М. Прикладные задачи термодинамического анализа неравновесных систем. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 336 с.

**Рецензенты:**

Портнов Василий Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, начальник УМУ, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда.

Турсунбаева Асель Кенжибековна, д-р техн. наук, профессор кафедры ММиН, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда.