

Таким образом, обогащение шихты кальцийсодержащей добавкой позволяет синтезировать долговечные кальцийсодержащие новообразования, обеспечить формирование благоприятной структуры микропоризованной керамической матрицы и повысить морозостойкость изделий.

Литература

1. Патраманская С.В., Макарова И.А., Лохова Н.А. Сырьевая смесь для изготовления стеновых материалов: пат. 2225853 Рос. Федерация. Бюл. № 8.

2. Лохова Н.А. Морозостойкие строительные керамические материалы и изделия на основе кремнеземистого сырья : моногр. Братск, 2009. 268 с.

3. Лохова Н.А., Макарова И.А., Патраманская С.В. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема: моногр. Братск: БрГТУ, 2002. 163 с.

References

1. Patramanskaya S.V., Makarova I.A., Lohova N.A. Patent 2225853 Russian Federation IPC1 C04B 33/00, 35/14, 28/26. Raw mix for walling materials manufacturing . 2004, Byull. № 8.

2. Lohova N.A. Frost-resistant ceramic construction materials and products based on silica material: monogr. Bratsk, 2009. 268 s.

3. Lohova N.A., Makarova I.A., Patramanskaya S.V. Fired materials based on silica fume: monogr. Bratsk, 2002. 163 s.

УДК 681.5

Различие понятия энтропии в термодинамике и системном анализе

В.Е. Гозбенко¹, Л.Г. Евсевлева², М.С. Кирик²

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, Чернышевского 15, Иркутск, Россия

²Ангарская государственная техническая академия, ул. Чайковского 60, Ангарск, Россия. E-mail: cpk@agta.ru

Статья поступила 23.03.2012, принята 24.09.2012

Показано, что применение методологии системного анализа к химическим системам позволяет построить эвристическую концепцию. Выводы из этой концепции не противоречат экспериментальным данным и известным законам природы. В качестве критерия членения объекта на части при многоступенчатом анализе химических систем предложен принцип энергетической дифференцировки, основанный на известной схеме иерархической организации природы. Формально принцип дифференцировки по энергии для химических систем можно записать в виде $E_{j+1} \gg E_j$. В работе дается определение связной информации как меры структурной сложности объекта. Структура объекта отображается подмножествами его частей и связей. Любая мера сложности есть функция, отображающая структуру объекта. Вводится форма для расчета связной структурной информации или сложности объекта. Вводится понятие передаваемой информации. Получение информации рассматривается как аналитическая процедура. При качественном анализе устанавливают типы униструктур и связей объекта. При количественном анализе определяют доли униструктур и связей различных типов. На этой основе даются общие соотношения для расчета энергетических и материальных затрат на передачу, получение и сохранение информации в сложных системах. Приведены примеры применения общих соотношений для различных объектов. Для определения потоков вещества и энергии, переносящих информацию, необходимо рассчитать парциальную материальную или парциальную энергетическую стоимость информации. Даны формулы для расчета этих величин. Показано, что передаваемая и связная информация не является функциями энергетических характеристик носителя информации. Это подчеркивает формальное сходство информации и термодинамической энтропии.

Ключевые слова: связная информация, типы униструктур, объект, связь, структуры, подсистемы, системы.

Difference of entropy notion in thermodynamics and in systems analysis

V.E. Gozbenko¹, L.G. Evsevleva², M.S. Kirik²

¹Irkutsk State University of Railway Engineering, 15, Chernyshevskogo str., Irkutsk, Russia

²Angarsk State Technical Academy, 60 Chaykovsky str., Angarsk, Russia. E-mail: cpk@agta.ru

The article received 23.03.2012, accepted 24.09.2012

It has been demonstrated that the application of the systems analysis methodology to chemical systems allows creating the heuristic conception. The ideas of this conception do not contradict the experimental data and the laws of nature. The authors of the article offer the principle of power differentiation based on the known scheme of the nature hierarchical organization as a criterion of an object partitioning in the process of the chemical systems multistage analysis. Formally, the energy differentiation principle for chemical systems can be represented as follows $E_{j+1} \gg E_j$. The coherent information is defined as a measure of the object structural complexity.

The object structure is represented by the subsets of its parts and connections. Any measure of complexity is a function displaying the object structure. The form to calculate the connected structural information or object complexity and the transferred information concept are introduced. The information accessing process is described as an analytical procedure. The qualitative analysis is used to determine the unstructures and various connections types. Thus, one can get general correlations for calculating energy and material expenditures when transferring, accessing and storing information in complex systems. Some examples of general correlations application for various objects and formulas to calculate the partial material or partial energy cost of information to determine the information flows of energy and matter have been given. The formulas to calculate these values have been provided. The article shows that the transferred and coherent information is not the function of the information carrier energy characteristics. This underlines the fact of formal similarity between information and thermodynamic entropy.

Keywords: coherent information, unstructures types, object, communication, structures, subsystems, systems.

Интерес к системному анализу был проявлен в 60-80-е годы, когда появились основополагающие работы по общей теории систем. Основные идеи системного подхода были представлены в трудах известных ученых: А.А. Богданова [1], А. Бергаланфи [2], Н. Винера [3], В.И. Садовского [4], М.И. Сетрова [5], Г.П. Мельникова [6], М. Месаревича и Я. Такахаяра [7], Ю.А. Шрейдера [8], Ю.А. Урманцева [9] и др. Однако некоторые авторы отмечают, что до сих пор нет методик не только синтеза, но и анализа систем, которые можно было бы применить в любой отрасли деятельности [10, 11].

В трудах академика В.В. Кафарова [12] для моделирования химических систем использован принцип иерархической организации природы. В химических исследованиях иерархичность выявляется при членении объектов на фазы, молекулы веществ, образующих эти фазы, атомы, из которых состоят молекулы. То есть, множества частей U и связей R структуры SS подразделяют на подсистемы некоторого низшего уровня, динамика которых определяется элементарными актами. Затем формируют подсистемы высших уровней. При этом на каждом следующем уровне элементами служат системы предыдущего уровня, а элементарными актами являются генеральные процессы предыдущего уровня. Так продолжается вплоть до системы SS объекта в целом. Получают распределение подсистем по уровням, отображаемое системой вложенных подмножеств:

$$U_{j+n} \subset U_{j+n-1} \subset \dots \subset U_j \subset \dots \subset SS, \quad (1)$$

где U_j – подмножество наименьших элементов системы SS , U – множества наиболее крупных элементов той же системы.

В множества могут входить объекты лишь одного типа, например типа j (схема 1). Тогда само множество является объектом типа $j+1$ и в то же время может быть элементом множества типа $j+2$, и т. д. Таким образом, образуется иерархия типов, состоящих из множества униструктур, а структура объекта определяется, как множество R отношений, заданных на множестве U униструктур этого объекта. Индивидуальность объекта определяется типом элементов множества U и свойствами отношений множества R , в частности, энергетическими характеристиками связей между элементами. Поэтому для построения иерархии типов элементов в качестве критерия естественно использовать принцип дифференцировки по энергии связи.

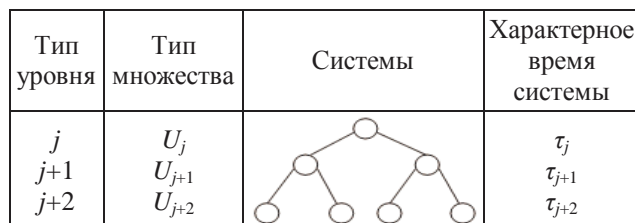


Схема 1. Иерархия подсистем.

Под энергией связи будем понимать прочность связи. Связь – это взаимодействие, отношение между объектами, путем обмена энергией, веществом и информацией. Прочность связи определяется либо энергией ее разрыва (статистические связи), либо потоками вещества и энергии от одного объекта к другому (обменные связи), например, информационные связи. Отметим, что потоки вещества, энергии и информации сопряжены между собой.

Пусть исходный объект состоит из униструктур, между которыми могут возникать как сильные, так и слабые взаимодействия (например, набор атомов). Через некоторое время сильные связи исчерпываются. При этом образуются надструктуры $j+1$ (схема 1) как комбинации исходных структур j (из атомов образуются молекулы). Затем за счет менее сильных связей может произойти укрупнение надструктур $j+1$ в надструктуры более высокого порядка $j+2$ (молекулы образуют комплексы). В результате возникает объект с иерархической структурой. Процесс декомпозиции происходит следующим образом. Вначале разрываются слабые связи с образованием агрегатов. Затем разрываются более прочные связи, и происходит распад на исходные униструктуры минимального размера (атомы).

Принцип дифференцировки по энергии для химических систем может быть сформулирован следующим образом: прочность связей между структурами данного уровня (сильные связи) выше прочности связей между однотипными подструктурами (слабые связи):

$$E_{j+1} \gg E_j, \quad (2)$$

где E_{j+1} – прочность связи между элементами уровня $j+1$, E_j – прочность связи между объектами более высокого уровня.

Мерой структурной сложности объекта считается связанная информация, то есть совокупность знаков или символов (термов), отображающих подмножество его частей и связей с заданной точностью. Интуитивно

понятно, что сложность систем растет с ростом числа униструктур (мощности множества R) и числа классов (типов) элементов, эквивалентных по какому-либо признаку. Например, в химии можно считать, что любой материальный объект состоит из частиц всего трех видов: протонов, нейтронов, электронов. Эти частицы связаны в различных сочетаниях ядерными и электрическими силами и образуют более 100 химических элементов. Те же частицы, соединенные в атомы углерода, водорода и кислорода с помощью химических связей, образуют молекулы органических веществ, количества которых исчисляются миллионами. Предложены различные методы измерения сложности [13]:

$$C(S) = -(f_1 \log_2 f_1 + f_2 \log_2 f_2 + \dots + f_n \log_2 f_n), \quad (3)$$

здесь $f_n = \frac{N_n}{N_0}$ – частота униструктур типа n , N_0 – общее

число униструктур, на которые разлагается объект S , N_n – число униструктур типа n .

Очевидно, что любые объекты состоящие из N одинаковых элементов, содержат, согласно (3), одну и ту же связную информацию (таблица 1). Нельзя не обратить внимания, что эта формула аналогична формуле Больцмана:

$$S = k_B (w_1 \log_2 w_1 + w_2 \log_2 w_2 + \dots + w_n \log_2 w_n), \quad (4)$$

где w_1, w_2, \dots, w_n – вероятности состояния термодинамической системы, k_B – постоянная Больцмана.

Аналогия формул (3) и (4) очевидна. Однако адекватный критерий для оценки связи количества информации с сопряженными энергетическими затратами и приращением термодинамической энтропии неизвестен.

Очевидно, что любые объекты, состоящие из N одинаковых элементов, содержат, согласно (3), одну и ту же связную информацию или имеют сложность $\log_2 N$ (аналог формулы Больцмана). Интуитивно понятно, что информация химико-технологического процесса выше, чем информация химической реакции, а связная информация реакции выше, чем связная информация химического состава.

Для получения информации необходим канал наблюдения – устройство и процедура для регистрации термов – знаков, сигналов, отображающих структуру объекта и его состояние [13], это могут быть приборы любой сложности или органы чувств как природные каналы наблюдения. При передаче информации между ее источником и монитором-приемником происходит обмен энергией и веществом. Возникает обменная связь. В результате связная информация отображается на мониторе. Вообще говоря, передаваемая информация – явление, отличное от связной информации.

Сходное отношение имеется между внутренней энергией тела и передаваемой энергией от тела другим телам. Но данная аналогия существенно ограничена. Для энергии выполняется закон сохранения: внутренняя энергия тела убывает ровно на сумму совершенной работы и переданной теплоты. Связная информация при взаимодействии также убывает, но убыль зависит

от степени нарушения структуры инфоисточника при контакте с монитором (рис. 1).

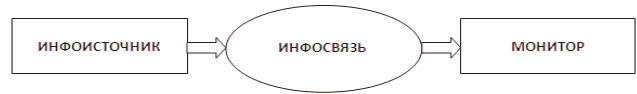


Рис. 1. Структура информационного контакта.

Существенно, что при любом информационном контакте не только источник действует на монитор, но имеет место и обратное воздействие. Особенно отчетливо это проявляется при изучении микрообъектов, что находит выражение в принципе неопределенности. Существует множество методов анализа, приводящих к полному разрушению образца и потере связной информации. Следствием этого является то, что переданная информация об объекте не больше его связной информации:

$$I(S) \leq C(S), \quad (5)$$

где $C(S)$ – связная информация объекта, $I(S)$ – переданная информация об объекте [13] на монитор:

$$I(S) = -(\sum f_1^t \log_2 f_1^t + \sum f_2^t \log_2 f_2^t + \dots + \sum f_n^t \log_2 f_n^t), \quad (6)$$

где $f_n^t = \frac{N_n^t}{N_0^t}$ – частоты униструктур типа n , трансли-

рованные по информационным каналам, N_0^t – общее число транслированных униструктур объекта S , N_n^t – число транслированных униструктур типа n .

Уменьшение переданной информации по сравнению со связной зависит от согласованности структур и характеристик источника и канала наблюдения, определяемых как предел обнаружения, селективность, разрешающая способность. При получении информации об изменяющемся объекте необходимым условием является согласование скорости изменения объекта и скорости передачи информации. Любое изменение объекта состоит в изменении набора униструктур на определенном уровне иерархии. Явление изменения набора униструктур объекта определяется как генеральный процесс. Например, реакция замещения – генеральный процесс в реакторе.

Числа униструктур, входящие в уравнения (3) и (6), являются функциями времени. Следовательно, $C(S)$ и $I(S)$ описывают поведение объекта во времени [5 – 16]. Скорость изменения структуры объекта определяет поток информации от источника к монитору. Чтобы определить потоки вещества и энергии, переносящие информацию, необходимо рассчитать парциальную материальную K_m и парциальную энергетическую K_E стоимости информации:

$$K_m = \frac{\Delta m}{\Delta I}, \quad (7)$$

$$K_E = \frac{\Delta E}{\Delta I}, \quad (8)$$

где $\Delta m, \Delta E$ – масса и энергия, затраченные на перенос информации ΔI . Тогда затраты вещества и энергии на перенос информации определяются как:

$$\Delta m = K_m \Delta I \quad (9)$$

$$\Delta E = K_E \Delta I. \quad (10)$$

Парциальные стоимости информации K_m и K_E являются функциями устройства инфоконтакта (рис. 1), а также способа передачи информации. Поэтому парциальная стоимость информации – величина не термодинамическая, и, следовательно, связь информации с термодинамической энтропией, если и существует, то опосредованная. Формально эту связь можно представить, например, следующим образом. Можно считать, в соответствии с основными принципами линейной неравновесной термодинамики [17], что скорость производства энтропии равна:

$$\sigma_s = \frac{\Delta E}{T},$$

где σ_s – скорость производства энтропии, T – температура. Тогда:

$$\sigma_s = \frac{K_E \Delta I}{T}. \quad (11)$$

Нижняя граница энергии, сопряженной с передаваемой информацией, определяется амплитудой тепловых флуктуаций:

$$\Delta E \approx k_b T,$$

где k_b – постоянная Больцмана, равная $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ ДжК}^{-1}$.

Верхняя граница энергии потока информации определяется минимальной энергией ΔE_d разрыва наиболее слабых связей инфоисточника и монитора. То есть, при передаче информации скорость производства энтропии изменяется в интервале:

$$k_b \leq \sigma_s \leq \frac{\Delta E_d}{T}. \quad (12)$$

В то же время, переданная информация (6) может не меняться. Это подтверждает формальное сходство информации и термодинамической энтропии.

В сложных объектах отдельные информационные контакты соединены в информационные цепи. Эти цепи можно отразить в виде графа.

Граф на рис. 2 отражает непрерывную проточную химическую систему [18]. Стрелки на графе отражают информационные контакты между элементами системы.

Система имеет иерархическое строение. Элементарные системы отдельных актов связываются и подчиняются системам регуляции химических непрерывных проточных систем. Последние регулируются процессами химической термодинамики и кинетики.

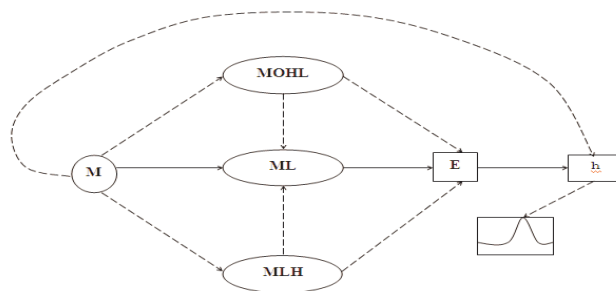


Рис. 2. Граф реакции комплексообразования: M – металл, ML – комплексное соединение, $MOHL$ – гидросокомплекс, $MЛH$ – протонированный комплекс, E – регистрирующий прибор, h – сигнал.

Материальными носителями управляющих сигналов химических систем являются продукты реакции или степень завершения реакции ξ . Связь двух параметров ξ и σ_s фактически установлена и проанализирована в работе [18]. То есть, информационные потоки сопряжены с энергетическими потоками, что позволяет с помощью уравнений (9) и (10) рассчитать затраты на информационное обеспечение непрерывных проточных процессов.

Для оценки величины σ_s количественно достаточно остановить пробу образца в детекторе непрерывного проточного реактора и регистрировать возрастание сигнала вплоть до состояния насыщения, как следствие химической эволюции системы, что иллюстрируют рис. 3 и примеры в работе [19].

Практические примеры расчета σ_s при осуществлении ионометрической регистрации сигналов приведены в 3-й колонке таблицы 1. Из данных таблицы 1 следует, что непрерывные проточные методы анализа характеризуются достаточно высокой информационной эффективностью 9-13 бит/мин, не свойственной стационарным физико-химическим методам анализа.

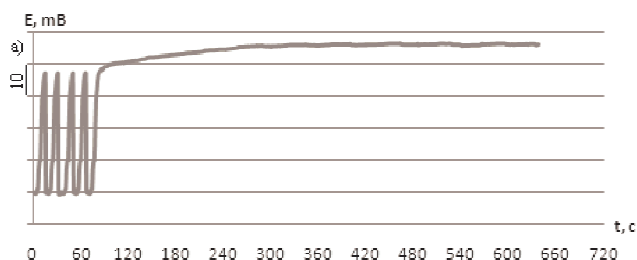


Рис. 3. Нахождение степени протекания реакции железа (III) с ЭДТА в проточной системе. $C(\text{Fe}) = 2,5 \text{ мкг/мл}$, $C(\text{ЭДТА}) = 5 \cdot 10^{-5} \text{ М}$, $V = 6 \text{ мл}$, $\omega = 2 \text{ мл/мин}$.

По формулам [20] рассчитывают информационную эффективность ΔI (таблица 1), далее по формулам (9) и (10) определяют энергетические ΔE и материальные Δm затраты. Расчеты показали, что в непрерывных проточных реакторах, сопряженных с интегрированными аналитическими приборами в режиме реального времени (on-line analytic), на получение аналитической информации уходит до 30 % энергии, поступающей с реагентами [19].

Таблица 1

Результаты комплексообразования различных металлов с алюмином $C(L)=4 \cdot 10^{-5} M$, $pH \approx 3,5$ ($P=0,95$)
(\bar{x} – средний результат параллельных определений, Sr – среднеквадратическое отклонение)

Металл	Концентрация полученного комплекса, $\mu\text{кг}/\text{мл}$ $\bar{x} \pm \Delta x$ (Sr)	$\sigma_s \cdot 10^{10}$, $\text{Дж} \cdot \text{град}^{-1} \cdot \text{л} \cdot \text{с}^{-1}$	Информационная эффективность, бит/мин
1	2	3	4
Al (III)	$0,25 \pm 0,03$ (0.025)	11,49	13,02
	$0,47 \pm 0,02$ (0.020)	25,49	
	$1,06 \pm 0,03$ (0.024)	26,06	
	$2,94 \pm 0,02$ (0.020)	27,69	
	$4,06 \pm 0,03$ (0.025)	31,96	
Fe (III)	$1,09 \pm 0,03$ (0.030)	23,28	11,10
	$2,19 \pm 0,03$ (0.032)	25,30	
	$3,35 \pm 0,03$ (0.022)	30,41	
Zn (II)	$1,06 \pm 0,02$ (0.026)	43,19	9,24
	$2,06 \pm 0,02$ (0.020)	45,12	
	$4,10 \pm 0,01$ (0.014)	47,34	
Ni (II)	$2,06 \pm 0,02$ (0.016)	33,19	11,46
	$3,96 \pm 0,01$ (0.014)	34,14	
	$6,06 \pm 0,02$ (0.016)	36,16	
Cu (II)	$1,83 \pm 0,02$ (0.015)	36,15	8,61
	$3,62 \pm 0,02$ (0.015)	38,15	
	$5,47 \pm 0,01$ (0.014)	40,14	

Из выполненных практических оценок σ_s видно, что с уменьшением концентрации величина σ_s уменьшается, поскольку при этом убывают соответствующие термодинамические силы и сопряженные с ними термодинамические потоки. В тоже время, информация не зависит от концентрации реагентов и, следовательно, не является термодинамической функцией. С другой стороны, чем меньше σ_s , тем ближе система к состоянию равновесия, наименьшее σ_s (даже при таких низких концентрациях) отвечает стационарному состоянию, что иллюстрируют данные таблицы 2.

Таким образом, несмотря на формальную связь термодинамической энтропии и информации, между ними имеется принципиальное различие: энтропию можно характеризовать как наблюдаемую величину – равную суммарной приведенной теплоте, полученной объектом в квазиравновесном процессе формирования

данного равновесного состояния; информацию – как безразмерную величину и не термодинамическую.

Таблица 2

Приближение к равновесному состоянию при непрерывном проточном детектировании $1 \mu\text{кг}/\text{мл}$

Степень приближения к равновесному состоянию, усл. ед.	$\sigma_s \cdot 10^{10}$, $\text{Дж} \cdot \text{град}^{-1} \cdot \text{л} \cdot \text{с}^{-1}$
0,3	36,22
0,5	27,68
0,7	25,80
0,8	23,28
0,9	18,25
0,95	11,95
~1,00	9,82

Литература

1. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука (текстология). М.: Книга, 1925. 123 с.
2. Bertalanffy L. General system Theory. N.Y.: G. Brazillier, 1973. 223 p.
3. Винер Н. Кибернетика. М.: Сов. Радио, 1968. 345 с.
4. Садовский В.И. Основы общей теории систем. М.: Сов. Радио, 1974. 332 с.
5. Сетров М.И. Основы функциональной теории организации Л.: Наука, 1972. 321 с.
6. Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. Радио, 1978. 368 с.
7. Месарович М., Такахаёра Я. Общая теория систем. М.: Мир, 1978. 432 с.
8. Боулинг К. Общая теория систем – скелет науки // Исследования по общей теории систем: сб. науч. ст. М.: Прогресс, 1969. С. 106 - 124.
9. Шрейдер Ю.А. Теория множеств и теория систем. М.: Наука, 1978. 445 с.
10. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. М.: Синтез, 2000. 528 с.
11. Похомов А.Н., Коновалов В.И. Основы моделирования химико-технологических систем. ТГТУ, 2008. 8 с.
12. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. Топологический принцип формализации М.: Наука, 1979. 394 с.
13. Klir G.J. Architecture of system problem solving. N.Y.: Plenum, 1985. 460 p.
14. Rosen R. Fundamentals of measurement and representation of natural systems. N.Y.: North-Holland, 1978. 411 p.
15. Шрейдер Ю.А., Шаров А.Н. Системы и модели. М.: Наука, 1982. 183 с.
16. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 490 с.
17. Булатов Н.Н., Лундин А.Б. Термодинамика неравновесных физико-химических процессов. М.: Химия, 1984. 336 с.
18. Евсевлеева Л.Г. Применение метода графов в теории проточного анализа на основе реакции комплексообразования // Математические методы в технике и технологиях: сб.тр. 18-й международн. конф. Казань, 2005. Т. 8. С. 240-241.
19. Евсевлеева Л.Г., Добрынина Н.Н., Корчевин Н.А. Энтропийные характеристики комплексообразования на границе раздела фаз // Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50. № 8. С. 83-85.
20. Данцер К., Тан Э., Мольх Д. Аналитика. М.: Мир, 1981. 278 с.

References

1. Bogdanov A.A. Universal organization science. (Textual criticism). M.: Kniga, 1925. 123 s.
2. Bertalanffy L. General system Theory. N.Y.: G. Brazillier, 1973. 223 p.
3. Wiener N. Cybernetics. M.: Sov. Radio, 1968. 345 s.
4. Sadovsky V.I. Foundations of general system theory. M.: Sov. Radio, 1974. 332 s.
5. Setrov M.I. Fundamentals of functional organization theory. L.: Science, 1972. 321s.
6. Mel'nikov G.P. Systemology and lingual aspects of cybernetics. M.: Sov. Radio, 1978. 368 s.
7. Mesarovich M., Takakhayara Ya. General systems theory. M.: Mir, 1978. 432 s.
8. Bouling K. General systems theory is a skeleton of science. // *Issledovaniya po obshchey teorii system: sb. nauch. st.* M.: Progress, 1969. S. 106 - 124.
9. Schreider Yu.A. Set theory and systems theory. M.: Nauka, 1978. 445 s.
10. Prangishvily I. V. System approach and general system laws. M.: Sinteg, 2000. 528 s.
11. Pokhomov A.N., Konovalov V.I. Model-based theory of chemical-engineering systems. TGTU, 2008. 8 s.
12. Kafarov V.V., Dorokhov I.N. System analysis of chemical engineering processes. Topological principles of formalization. M.: Nauka, 1979. 394 s.
13. Klir G.J. Architecture of system problem solving. N.Y.: Plenum, 1985. 460 p.
14. Rosen R. Fundamentals of measurement and representation of natural systems. N.Y.: North-Holland, 1978. 411 p.
15. Schreider Yu.A., Sharov A.N. Systems and models. M.: Nauka, 1982. 183 s.
16. Moiseev N. N. Mathematical problems of system analysis. M.: Nauka, 1981. 490 s.
17. Bulatov N.N., Lundin A.B. Thermodynamics of nonequilibrium physical-chemical processes. M.: Khimiya, 1984. 336 s.
18. Evsevleeva L.G. Application of graph method in flowing theory analysis of metal complexes. // *Matematicheskiye metody v tekhnike i tekhnologiyakh: sb. tr. 18 mezhdunar. konf. Kazan, 2005. T. 8. S. 240-241.*
19. Evsevleeva L.G., Dobrynina N.N., Korchevin N.A. Entropic characteristics of interfacial complex formation // *Izv. vyssh. ucheb. zavedeniy. Ser. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. 2007. T. 50. № 8. S. 83-85.*
20. Dantser K., Tan A. Mol'kh L. Analytics. M.: Mir, 1981. 278 s.