

#### References

1. Bodner V. A. Izmeritel'nye pribory (teoriya, raschjot, proektirovanie) [Measuring devices (theory, calculation, design)]: v 2 t. : ucheb. pos. Moscow: Izd-vo standartov, 1986.
2. Glazunov V. N. Jekspertnaja sistema «Novator i Jedison»: instrukcija pol'zovatelja, versija 4 [Expert system «Innovator and Edison»: user manual, version 4]. Moscow, 1991. 123 p.
3. Zaripov M. F., Petrova I. Yu. Predmetno-orientirovannaja sreda dlja poiska novyh tehniceskikh reshenij «Intellekt» [The subject-oriented environment for search of new technical solutions "Intelligence"]. RI-95: IV Sankt-Peterburgskaja mezhdunar. konf. [RI-95: St. Petersburg International Conference]. St. Petersburg, 1995, pp. 60–61.
4. Kamaev V. A., Fomenkov S. A., Siplivaya M. B., Kolesnikov S. G. Fizicheskie javlenija iz materialov zajavok na otkrytija po fizike: [The physical phenomena from materials of application for opening on physics]. Volgograd: VolgSTU, 1995. 224 p.
5. Sokolov L. V., Shkol'nikov V. M. O tehničeskom urovne sovremennyh integral'nyh datchikov davlenija dlja aviacionnyh informacionno-izmeritel'nyh sistem (IIS) [On technological level of modern integrated sensors of pressure for aviation information and measuring systems (IMS)]. *Datchiki i sistemy* [Sensors and Systems], 2001, no. 4, pp. 26–29.
6. Fomenkov S. A., Grishin V. A., Karachunova G. A. Avtomatizirovannaja sistema poiska fiziceskikh principov dejstvija izdelij i tehnologij (SAPFIT) [The automated system of search of physical principles of action of products and technologies]. Volgograd, 1990, 1944-V.
7. Chervjakov L. M., Volkova G. D., Shchukin M. V., Bychkova N. A. Instrumental'nye sredstva podderzhki processov analiza i konceptual'nogo modelirovanija informacionnyh sistem [Tools of support of processes of the analysis and conceptual modeling of information systems]. *Zhurnaly po kachestvu* [Quality Journal], 2003, no. 10, pp. 48–53, Available at: <http://www.quality-journal.ru>.

УДК 681.3.069

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМЕНИ N ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ВЫХОДНОГО ЗНАЧЕНИЯ КОМПОНЕНТЫ КРИТЕРИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Хоменко Татьяна Владимировна*, кандидат технических наук

Астраханский государственный технический университет  
414025, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
E-mail: [t\\_v\\_khomenko@mail.ru](mailto:t_v_khomenko@mail.ru).

*В настоящее время автоматизированные системы поискового конструирования позволяют выполнять расчет выходных значений компонент критерия оценивания синтезированных физических принципов действия (ФПД) чувствительных элементов (ЧЭ) в автоматическом режиме. Традиционно все значения компонент критерия физико-технических эффектов (ФТЭ) входящих в структурную схему ФПД представлены экспертами в виде точной количественной оценки. Для расширения возможностей автоматизированных систем поискового конструирования предлагается использовать значения компонент критерия, представленных экспертами в виде качественной оценки: нечеткой/лингвистической переменной, которая считается заданной, если определены все элементы кортежа, в т.ч. имя N нечеткой/лингвистической переменной. В результате вычислений выходных значений компонент критерия возникает проблема определения имени N нечеткой/лингвистической переменной. Осложняется данная задача тем, что при различных типах представления*

входных величин (качественная – количественная) в результате применения операций, могут быть получены функции принадлежности результирующих нечетких множеств, которые сложно идентифицировать.

Для решения поставленной задачи используется особенность нейронных сетей с адаптивным резонансом: сохранять пластичность при запоминании новых образов и, в то же время, предотвращать модификацию старой памяти. Показано, что параллельные вычисления нейронной сети происходят быстрее и не увеличиваются с ростом числа компонент ФПД.

Разработка системы, охватывающая задачи расчета компонент критерия оценивания ФПД ЧЭ как с четкими, так и с нечеткими/лингвистическими значениями и её реализация позволяет, во-первых, совместить различные способы представления значений компонент критерия оценивания ФТЭ, во-вторых, применять разработанную систему на ранних этапах проектирования технических объектов.

**Ключевые слова:** чувствительные элементы системы управления, расчёт значений компонент критерия, качественные оценки, нечеткая/лингвистическая переменная, идентификация имени, нейронные сети, адаптивный резонанс.

#### **DEFINITION OF THE NAME N OF LINGUISTIC VARIABLE OF OUTPUT VALUE OF CRITERION COMPONENT OF PHYSICAL PRINCIPLE OF SENSING ELEMENT ACTION**

*Khomenko Tatyana V.*, Ph.D. (Engineering)

Astrakhan State Technical University  
16 Tatishchev st., Astrakhan, 414025, Russia  
E-mail: t\_v\_khomenko@mail.ru

*At present the automated systems of exploratory design allow to calculate the output values of criterion component of synthesized physical principles of action (PPA) of sensing elements (SE) in the automatic mode. Traditionally, all the values of criterion components of physicotchnical effects (PTE) included in structural diagram of PPA are presented by the experts in the form of accurate quantitative assessment. For expansion of possibilities of the automated systems of exploratory design it is proposed to use the values of criterion component, presented by experts in the form of qualitative assessment: a fuzzy/linguistic variable, which is considered to be a given one, if you have defined all the elements of tuple, including the name N of fuzzy/linguistic variable. In the result of calculations of the output values of criterion component there emerges a problem of definition of the name N of fuzzy/linguistic variable. This task is complicated by the fact that at the various types of the input values (qualitative – quantitative) as a result of operations, the membership functions of the resulting fuzzy sets, which are difficult to identify, can be obtained.*

*For solution of the set task the feature of neural networks with adaptive resonance is used: to preserve the plasticity when you store new images and, at the same time, to prevent the modification of the old memory. It is shown that the parallel calculations of the neural network is faster and does not increase with the rise in the number of components of PPA.*

*The development of the system, covering the tasks of calculation of criterion component of estimation of PPA of SE with clear and fuzzy/linguistic values and its implementation make it possible, first, to combine the various ways of presenting the values of criterion component of PTE estimation, secondly, to apply the developed system at the early stages of design of technical facilities.*

---

---

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

---

---

*Keywords: Sensing elements of control system, Calculation of values of criterion component, Qualitative assessments, Fuzzy/linguistic variable, Name identification, Neural networks, Adaptive resonance.*

В настоящее время одной из основных задач в проектировании чувствительных элементов является задача опережающего развития: поиск новых технических решений – физических принципов действия (ФПД) чувствительных элементов, удовлетворяющих изменяющимся эксплуатационным характеристикам (ЭХ). Существующие автоматизированные системы поискового конструирования позволяют выполнить расчет ЭХ [7, с. 57], синтезированных ФПД, в автоматическом режиме согласно формулам [1, с. 10]. Для чего все значения ЭХ должны быть представлены экспертами в виде точной количественной оценки, поэтому процесс расчёта носит тривиальный характер. Для расширения возможностей автоматизированных систем поискового конструирования в работах [5, с. 89; 6, с. 54] предлагается использовать понятие «компоненты критерия», отождествляемое с понятием ЭХ, и значения компонент критерия, представленные экспертами в виде качественной оценки: нечеткой/лингвистической переменной, которая считается заданной, если определены все элементы кортежа, в т.ч. имя  $N$  нечеткой/лингвистической переменной [2, с. 62].

Однако в результате применения операций [4, с. 94], могут быть получены функции принадлежности нечетких множеств, характеризующие лингвистические переменные, имя которых сложно идентифицировать.

Для решения поставленной задачи целесообразно использовать особенность нейронных сетей с адаптивным резонансом: сохранять пластичность при запоминании новых образов и в то же время предотвращать модификацию старой памяти [3, с. 152].

Нейросеть, имея внутренний детектор новизны, идентифицирует предъявленный образ с одновременной уточняющей модификацией синаптических весов нейрона, выполняющих идентификацию: возникновение адаптивного резонанса в сети. Если резонанс возникает: а) за пределами некоторого порогового уровня, то считается успешным тест новизны и образ воспринимается сетью как новый; б) в пределах некоторого порогового уровня, то считается успешным тест идентификации и образ воспринимается сетью как идентифицированный, при этом степень эквивалентности предъявленного образа с образом, содержащимся в памяти наиболее высокая:

$$\mu(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = v(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) \& v(\tilde{A}_2, \tilde{A}_1). \quad (1)$$

Согласно (1), степень эквивалентности нечетких множеств есть конъюнкция импликаций этих нечетких множеств, где каждая импликация отражает степень вложенности одного нечеткого множества в другое:

$$\mu_{\tilde{A}_1}(x) \rightarrow \mu_{\tilde{A}_2}(x) = 1 \& (1 - \mu_{\tilde{A}_1}(x) + \mu_{\tilde{A}_2}(x)). \quad (2)$$

Следовательно, задача идентификации имени  $N$  для получения нечеткой/лингвистической переменной разбивается на четыре этапа:

1. Выполнение операций над нечеткими множествами  $\tilde{A}_1$  и  $\tilde{A}_2$ , результатом которых является нечеткое множество  $\tilde{A}$ .
2. Выполнение импликации над  $\tilde{A}$  и нечетким множеством  $\tilde{A}_i$  нечеткой/лингвистической переменной с именем  $N_i$  базы данных где  $i = \overline{1, n}$ .
3. Вычисление степени эквивалентности двух нечетких множеств.
4. Присвоение:  $N := N_i \leftrightarrow \mu(\tilde{A}, \tilde{A}_i) - \text{наибольшее}$ , где  $i = \overline{1, n}$ .

Нейросеть, реализующая (2) второго этапа, представима в виде сети следующей структуры (рис. 1).

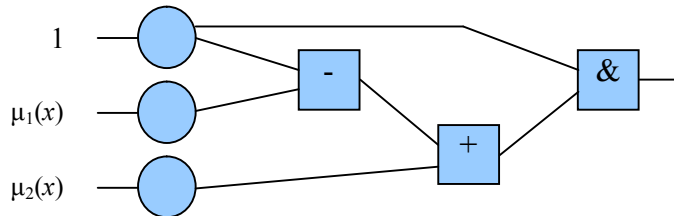


Рис. 1. Сеть, реализующая операцию импликации

Импликацию как степень вложенности нечетких множеств можно рассматривать как конъюнкцию импликаций по всем аргументам  $x_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) вектора значений  $\mu(x_j)$ ,  $\mu_i(x_j)$  и интерпретировать следующим образом: на каждый первый вход подается «1», на каждый второй – степень принадлежности  $\mu(x_j)$  нечеткому множеству  $\tilde{A}$ , на каждый третий – степень принадлежности  $\mu_i(x_j)$  нечеткому множеству  $\tilde{A}_i$ . Результатом является степень вложенности нечеткого множества  $\tilde{A}$  в  $\tilde{A}_i$  (рис. 2).

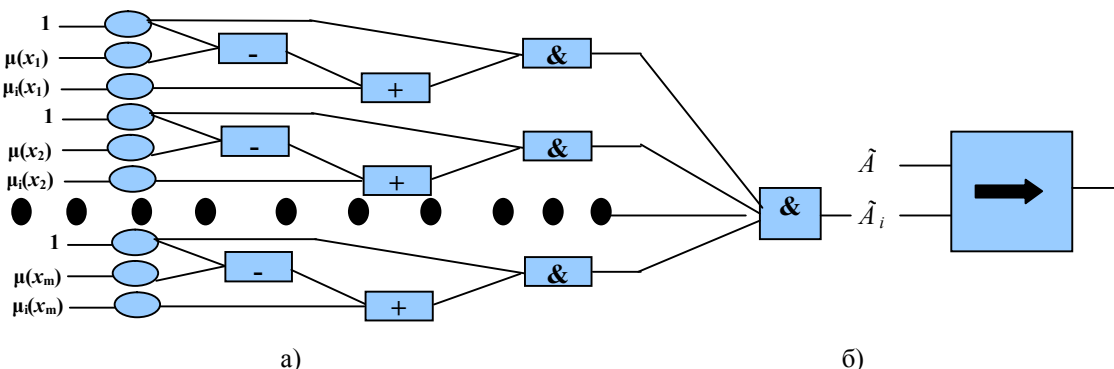


Рис. 2. а) Сеть, вычисляющая степень вложенности нечетких множеств.  
 б) Сеть, представленная как единый блок

Для вычисления степени эквивалентности нечеткие множества распределяются и подаются в следующий слой – «импликаций», после чего (в следующем слое) находится конъюнкция вычисленных импликаций  $(\tilde{A}; \tilde{A}_i)$  и  $(\tilde{A}_i; \tilde{A})$ . Нейросеть, реализующая формулу (1) третьего этапа, может быть представлена как на рис. 3.

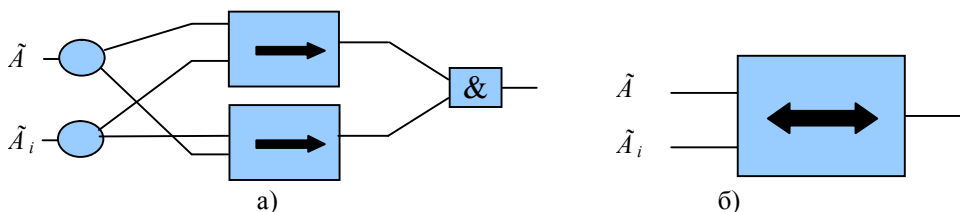


Рис. 3. а) Сеть, вычисляющая степень эквивалентности нечетких множеств;  
 б) Сеть, представленная как единый блок

---



---

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

---



---

Общая сеть (рис. 4), реализующая определение имени  $N$  нечеткой/лингвистической переменной значения компоненты критерия интерпретируется следующим образом:

- на входы сети подаются нечёткие множества, характеризующие нечёткие/лингвистические переменные, для выполнения над ними бинарных операций в следующем слое, включающие выполнение арифметических операций и свертку функций принадлежности, что позволяет получить гладкую верхнюю оценку результатов, путем исключения из результирующего нечеткого множества точек – минимумов функции принадлежности этого множества;

- в блок «эквивалентность» на вход № 1 подается  $\tilde{A}$  – результат бинарных операций, на вход № 2 того же блока подаются нечеткие множества  $\tilde{A}_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) нечётких/лингвистических переменных базы данных, для вычисления степени эквивалентности в следующем слое;

- результаты вычисления – степени эквивалентности попадают в следующий слой нейронов, аналогичный нейронам Кохонена: тот, нейрон который получит на вход максимальное значение, вернет значение «1», остальные нейроны вернут значение «0»;

- данные результата попадают в следующий слой нейронов, аналогичных нейронам Гроссберга, где вычисляют взвешенные суммы полученных входов: только один из нейронов слоя Гроссберга, получивший на вход значение «1», вернет вес, связывающий его с нейроном слоя Кохонена; остальные нейроны, получившие на вход значение «0», вернут «0». Данный вес является порядковым номером  $i$  имени  $N_i$  нечёткой/лингвистической переменной базы данных;

- в последнем слое сети по полученному из слоя Гроссберга порядковому номеру  $i$  нечёткой/лингвистической переменной будет взято имя  $N_i$  для идентификации имени  $N := N_i$  результирующей нечёткой/лингвистической переменной  $(N; X; \tilde{A}) / (N; T; G; X; M)$ .

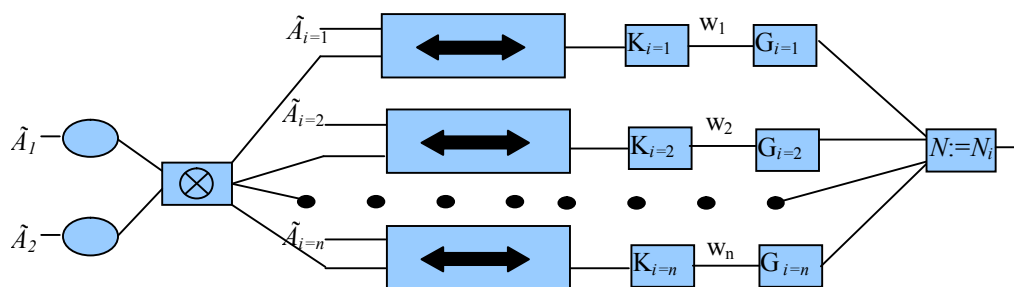


Рис. 4. Сеть, реализующая идентификацию имени  $N$  нечёткой/лингвистической переменной

В качестве альтернативы использованию нейронных сетей с параллельным выполнением операций в одном слое можно рассматривать алгоритмы с последовательным выполнением операций.

Скорость выполнения бинарных операций зависит от аппаратной составляющей вычислительной машины. Однако, если за элементарную единицу  $t$  времени вычисления принять время выполнения операции сложения как самой быстрой арифметической операции, то с учетом того, что цепочка ФПД содержит произвольное  $n$  – конечное число (мощность ФПД) элементов – ФТЭ, тогда бинарные операции и идентификация будут проводиться столько раз, ка-

кова мощность ФПД. В таблице приведены результаты времени вычислительного эксперимента расчёта значений компонент критерия, заданных в качественной форме.

Таблица

**Результаты времени вычислительного эксперимента расчёта**

Мощность ФПД операции	Время вычислений нейросети				Время вычислений алгоритма			
	1	5	10	20	1	5	10	20
«+»	$t$				$t$			
«-»	$2t$				$2t$			
«*»	$2t$				$2t$			
«>» («&»)	$3t$				$3t$			
«→»		$9t$	$9t$	$9t$		$33t$	$63t$	$123t$
«↔»		$12t$	$12t$	$12t$		$69t$	$129t$	$249t$
«Идентификация»		$120t$	$120t$	$120t$		$1177t$	$2077t$	$3877t$

Очевидно, что параллельные вычисления нейронной сети происходят быстрее и не увеличиваются с ростом мощности ФПД.

Заключение. В настоящее время разработана система, охватывающая задачи расчета компонент критерия ФПД с четкими и нечеткими/лингвистическими значениями. Реализация такой системы позволяет, во-первых, совместить различные способы представления значений компонент, во-вторых, применять разработанную систему на ранних этапах проектирования технических объектов.

#### Список литературы

1. Зарипов М. Ф. Энергоинформационный метод анализа и синтеза чувствительных элементов систем управления / М. Ф. Зарипов, И. Ю. Петрова // Датчики и системы. – 1999. – № 5. – С. 10–16.
2. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д. А. Поспелова. – Москва : Наука, 1986. – 312 с.
3. Нечёткие множества и нейронные сети : учеб. пос. / под ред. Г. Э. Яхьяева. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 316 с.
4. Хоменко Т. В. Вычисление эксплуатационных характеристик ФПД энергоинформационного метода, заданных в виде нечеткой/лингвистической переменной / Т. В. Хоменко, М. А. Мурыгин // Вестник АГТУ. – 2009. – № 1. – С. 94–97. – (Сер. Управление, вычислительная техника и информатика).
5. Хоменко Т. В. Использование лингвистических переменных в качестве значений эксплуатационных характеристик физико-технических эффектов / Т. В. Хоменко М. А. Мурыгин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2008. – № 1. – С. 89–92.
6. Хоменко Т. В. Использование нечетких переменных в качестве значений эксплуатационных характеристик физико-технических эффектов / Т. В. Хоменко, М. А. Мурыгин // Вестник АГТУ. – 2008. – № 2 (43). – С. 54–57.
7. Хоменко Т. В. Сравнительный анализ совокупности эксплуатационных характеристик датчиков давления и эксплуатационных характеристик автоматизированной системы поискового конструирования «Интеллект» / Т. В. Хоменко // Вестник АГТУ. – 2008. – № 2 (43). – С. 57–58.

#### References

1. Zaripov M. F., Petrova I. Yu. Jenergoinformacionnyj metod analiza i sinteza chuvstvitel'nyh jelementov sistem upravlenija [Power information method of the analysis and synthesis of sensing elements of control systems]. *Datchiki i sistemy* [Sensors and Systems], 1999, no. 5, pp. 10–16.
2. Nechetkie mnozhestva v modeljah upravlenija i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in models of management and artificial intelligence]. Moscow: Nauka, 1986, 312 p.

---

---

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

---

---

3. Nechjotkie mnozhestva i nejronnye seti: ucheb. pos. [Fuzzy sets and neural networks: manual]. Moscow: BINOM. Laboratorija znaniy, 2006. 316 p.
4. Homenko T. V., Murygin M. A. Vychislenie jekspluacionnyh harakteristik FPD jenergo-informacionnogo metoda, zadannyh v vide nechetkoj/lingvisticheskoj peremennoj [Calculation of operational characteristics of PPA of the power-information method which has been set in the form of fuzzy/linguistic variable]. *Vestnik AGTU* [Bulletin of Astrakhan State Technical University], 2009, no. 1, pp. 94–97, (Ser. Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika).
5. Homenko T. V., Murygin M. A. Ispol'zovanie lingvisticheskikh peremennyh v kachestve znachenij jekspluacionnyh harakteristik fiziko-tehnicheskikh jeffektov [Use of linguistic variables as values of operational characteristics of physicotchnical effects]. *Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies]. 2008, no. 1, pp. 89–92.
6. Homenko T. V., Murygin M. A. Ispol'zovanie nechetkih peremennyh v kachestve znachenij jekspluacionnyh harakteristik fiziko-tehnicheskikh jeffektov [Use of fuzzy variables as values of operational characteristics of physicotchnical effects]. *Vestnik AGTU* [Bulletin of Astrakhan State Technical University], 2008, no. 2 (43), pp. 54–57.
7. Homenko T. V. Sravnitel'nyj analiz sovokupnosti jekspluacionnyh harakteristik datchikov davlenija i jekspluacionnyh harakteristik avtomatizirovannoj sistemy poiskovogo konstruirovaniya «Intellekt» [The comparative analysis of set of operational characteristics of pressure sensors and operational characteristics of the automated system of search designing "Intelligence"]. *Vestnik AGTU* [Bulletin of Astrakhan State Technical University], 2008, no. 2 (43), pp. 57–58.

УДК 539.193/.194.535/.33/34

### МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ S-ТРИНИТРОТРИАЗИНА

*Элькин Михаил Давыдович*, профессор, доктор физико-математических наук  
*Смирнов Владимир Вячеславович*, кандидат физико-математических наук  
*Джалмухамбетова Елена Азатуллаевна*, кандидат физико-математических наук  
*Алыкова Ольга Михайловна*, кандидат педагогических наук  
*Амантаева Луиза Садыховна*, ассистент

Астраханский государственный университет  
414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а  
E-mail: elkinmd@mail.ru, kof@aspu.ru

*На основании неэмпирических квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала в данной работе предложена интерпретация колебательных состояний симметричного тринитротриазина ( $C_3N_6O_6$ ). Проведен анализ конформационной структуры исследуемого соединения, выявлены признаки его спектральной идентификации. Обоснован выбор метода и базиса расчета частот фундаментальных колебаний и интенсивностей полос в спектрах ИК и КР. Описана методика оценки ангармонизма колебаний с использованием кубических и квартичных силовых постоянных. В статье представлены результаты численного эксперимента, определены геометрические параметры молекул, такие как длины валентных связей и величины углов между ними. Получены частоты колебательных состояний и величины их интегральных интенсивностей. Для подтверждения достоверности предсказательных расчетов, привлечены результаты модельных расчетов конформационных свойств и частот фундаментальных колебаний s-триметилтриазина ( $C_6N_3H_9$ ), s-триаминотриазина ( $C_3N_6H_6$ ) и 1,3,5-тринитробензола. Для этих соединений предложена*