

УДК 004.021

DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.645-653

## Определение структуры информационной системы на основе использования нечеткой логики

В. М. Понятский, А. В. Горин\*

Акционерное общество «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А. Г. Шипунова», г. Тула, Россия

300001, Россия, г. Тула, ул. Щегловская засека, д. 59

\* tongornani@mail.ru

### Аннотация

В статье рассматривается метод комплексирования сигналов от неравноточных информационных систем, основанный на нечеткой логике, объединяющий два подхода к комплексированию: расчет весовых коэффициентов и отсечение данных с помощью порогового значения. Предлагаемый метод основан на интерпретации основных этапов нечеткого вывода – фаззификации, вычисления результирующей функции принадлежности и дефаззификации, и позволяет одновременно определять режим работы информационных систем (их комплексирование или использование одного из сочетаний, определяемого критериями качества сигналов) и весовые коэффициенты комплекслируемых сигналов. Приводятся общая постановка задачи комплексирования и схема комплексирования  $N$  информационных систем с  $K$  критериями качества их сигналов. Для оценки качества комплексирования используется критерий среднего квадратического отклонения. Комплексирование рассматривается на примере обработки трех гармонических сигналов, зашумленных белым аддитивным шумом. Для анализа качества комплексирования используются различные варианты зашумления сигналов: все сигналы имеют одинаковый уровень зашумленности; один сигнал имеет уровень в несколько раз больше, чем два другие; у всех сигналов разный уровень зашумленности. Показано, что применение одного из способов комплексирования по отдельности менее эффективно, чем их совместное использование с помощью комплексирования. Статья является продолжением статей [5, 6].

**Ключевые слова:** комплексирование, информационная система, нечеткая логика.

**Для цитирования:** Понятский В. М., Горин А. В. Определение структуры информационной системы на основе использования нечеткой логики // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 3. С. 645-653. DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.645-653

© Понятский В. М., Горин А. В., 2019



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



## Determining the Structure of the Information System Based on the Use of Fuzzy Logic

V. M. Ponyatsky, A. V. Gorin\*

KBP Instrument Design Bureau, Tula, Russia  
59 Shcheglovskaya Zaseka Str., Tula 300001, Russia  
\* tongornani@mail.ru

### Abstract

The method of signals fusion from unequal information systems, based on fuzzy logic, combining two approaches to fusion is considered: calculating weights and cutting off data by threshold. The proposed method is based on the interpretation of the main stages of the fuzzy inference – fuzzification, calculating of resulting membership function of the rule-base conclusion and defuzzification, it allows us, at the same time, to determine the mode of operation of information systems (their fusion or the use of one of the combinations determined by the criteria for signal quality) and the weights of the fused signals. The general formulation of the problem of fusion and the scheme of fusion of  $N$  information systems with  $K$  the criteria for the quality of their signals are given. The standard deviation criterion is used to assess the quality of the fusion. The fusion is considered by the example of processing three harmonic signals to which white additive noise is added. To analyze the quality of the fusion, different variants of noise signals are used: all signals have the same noise level; one signal has a noise level several times greater than the other two; all signals have different noise levels. It is shown that the independent use of the fusion methods is less effective than simultaneous use them on the basis of the fuzzy logic fusion. This article is sequel to the articles [5, 6].

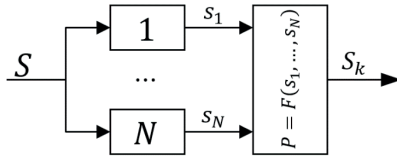
**Keywords:** fusion, information systems, fuzzy logic.

**For citation:** Ponyatsky V.M., Gorin A.V. Determining the Structure of the Information System based on the use of Fuzzy Logic. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(3):645-653. DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.645-653



## Введение

Общая постановка задачи. Пусть полезный сигнал  $S$  измеряется  $N$  информационными системами (ИС), имеющими ошибки измерения  $\eta_i, i = 1, N$ . Необходимо по заданным  $K$  критериям качества определить структуру системы комплексирования (рисунок 1).



Р и с. 1. Общая схема комплексирования:  $S$  – измеряемый полезный сигнал;  $1, N$  – информационные системы, измеряющие полезный сигнал;  $s_1, \dots, s_N$  – сигналы от информационных систем;  $P$  – преобразование сигналов ИС;  $S_k$  – комплексированный сигнал.

Fig. 1. General scheme of fusion:  $S$  – measured valid signal;  $1, N$  – valid signal measuring information systems;  $s_1, \dots, s_N$  – signals from information systems;  $P$  – IS signal conversion;  $S_k$  – fused signal.

Сигнал от каждой ИС представим в виде:

$$S_i(t) = S(t) + \eta_i(t), i = 1, N \quad (1)$$

где  $S$  – полезный сигнал;  $S_i$  – сигнал от  $i$ -ой ИС;  $\eta_i$  – ошибка измерения полезного сигнала  $i$ -ой ИС.

Тогда задача формирования структуры ИС определяется выбранным преобразованием  $P$ , которое обеспечивало бы оптимальную в смысле решаемой задачи обработку сигналов от ИС:  $P = F(s_1, \dots, s_N)$  (2)

Решение задачи имеет два подхода: первый заключается в вычислении весовых коэффициентов, которые используются для комплексирования сигналов [1, 3]:

$$P = \sum_{i=1}^N w_i s_i, w_i = \frac{1}{\sigma_i^2 \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}}, \quad (3)$$

где  $w_i$  – вес сигнала  $i$ -ой ИС.

Второй подход заключается в структурной организации ИС. Например, для случая трех сигналов такая логика может быть определена следующим образом [1]:

$$P = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{3} \text{ при } |s_i - s_j| < \Delta \quad (i, j = 1, 2, 3);$$

$$P = \frac{s_i + s_j}{2}, i \neq j, \text{ при } |s_1 - s_2| < \Delta, |s_3 - s_1| < \Delta, |s_3 - s_2| < \Delta,$$

где  $\Delta$  – некоторое заранее установленное пороговое значение. Оптимальными вариантами преобразования являются решения, представленные в [1, 2].

В [1] описано оптимальное нелинейное безынерционное преобразование, полученное по критерию средней квадратической погрешности  $M([P - S]^2) = \min$  ( $M$  – операция математического ожидания) и учитывающее надежность работы ИС. [2] является обобщением [1]: полезный сигнал и погрешности могут иметь любое распределение, а число отказов, которое в [1] было принято равным 1, может быть любым.

При суммировании с весами, которые определяются величиной дисперсии ошибки измерения истинного сигнала, главный недостаток заключается в необходимости при решении задач комплексирования по формуле (3) учитывать сигналы,

которые будут иметь малые, но не нулевые, весовые коэффициенты и, следовательно, полезный сигнал будет искажаться недостоверной информацией. Использование подхода, описанного в [2], сопряжено с определенными вычислительными трудностями, поскольку предлагаемые для расчета весовых коэффициентов зависимости предусматривают большее количество операций, чем преобразование (3), поэтому для систем реального времени, для которых быстродействие является одним из основных критериев, такой подход применим в узком спектре возможных случаев.

В статье предлагается способ определить структуру ИС, основанный на реализации двух подходов с использованием нечеткой логики.

## Обобщенная модель комплексирования $N$ информационных систем по $K$ критериям качества

Обобщенный процесс комплексирования  $N$  ИС по  $K$  критериям качества основан на следующих интерпретациях основных этапов нечеткого вывода (рисунок 2).



Р и с. 2. Обобщенная модель выбора структуры системы комплексирования ИС основанной на нечеткой логике:  $I(S_m)$  – вектор критериев качества

входных сигналов;  $MF(\mu_{S_m})$  – вектор степеней принадлежности

критериев качества входных сигналов нечетким множествам;

$RMF(\mu_{resm})$  – вектор результирующих функций принадлежности;

$DI(S_m)$  – вектор дефазифицированных значений (весовых коэффициентов) входных сигналов.

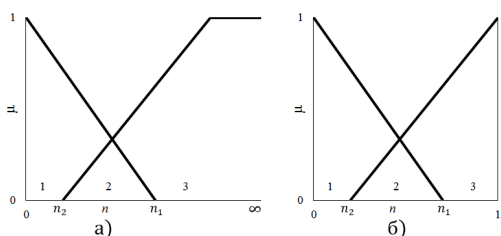
Fig. 2. A generalized model for the selection of the structure of the system of integration of IS based on fuzzy logic:  $I(S_m)$  – input signal quality criteria vector;  $MF(\mu_{S_m})$  – vector of degrees of membership of input signal quality criteria to fuzzy sets;  $RMF(\mu_{resm})$  – vector of resulting membership functions;  $DI(S_m)$  – vector of defuzzified values (weighting factors) of input signals.

Блок фаззификации (БФ), на который подаются критерии качества водных сигналов (или их нормированные значения), используется для выбора режима работы ИС [5], который определяется в механизме нечеткого вывода (МНВ). После определения формы и количества нечетких множеств возможные значения критерия качества, например, для двух ИС разбиваются на области – первая  $n \in [0; n_2]$ , вторая  $n \in [n_2; n_1]$ , третья  $n \in [n_1, \infty(8; 81))$  (рисунок 3), которые в дальнейшем используются для выбора режима работы:

$$\text{режим} = \begin{cases} \text{если } n \in 1, \text{ используется первая ИС} \\ \text{если } n \in 2, \text{ используется комплексирование ИС} \\ \text{если } n \in 3, \text{ используется вторая ИС} \end{cases}$$

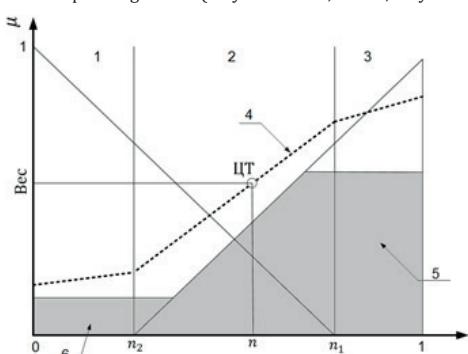
После вычисления вектора степеней принадлежности полученные значения, пройдя этапы агрегирования, активизации и аккумуляции в МНВ, определяют вид конечной функции принадлежности  $\alpha_{res}$  (общий вывод из базы правил), которая используется при дефаззификации для вычисления весов ИС и выбора режима работы. Например, для случая комплексирования двух ИС [5] конечная функция принадлежности, определяемая двумя треугольными нечеткими множествами, может иметь вид, представленный на рисунке 4.





Р и с. 3. Интерпретация входного нечеткого нормированного множества для случая комплексирования сигналов двух ИС: а) нечеткое множество с физическим диапазоном изменения критерия качества сигнала  $n$ ; б) нечеткое множество с нормированным диапазоном изменения критерия качества сигнала  $n$ ;  $n_1, n_2$  – границы правостороннего и левостороннего треугольных нечетких множеств; 1, 2 и 3 – режимы функционирования (только первой ИС, комплексирования, только второй ИС).

Fig. 3. Interpretation of the input fuzzy normalized set for the case of fusion signals of two IS: а) a fuzzy set with a physical range of variation of the signal quality criterion  $n$ ; б) a fuzzy set with a normalized range of variation of the signal quality criterion  $n$ ;  $n_1, n_2$  – frontiers of right and left triangular fuzzy sets; 1, 2 and 3 – operating modes (only the first IS, fusion, only the second IS).



Р и с. 4. Интерпретация координат центра тяжести результирующей функции принадлежности для двух ИС: 1, 2 и 3 – режимы работы (с приоритетом первой ИС, комплексирования и с приоритетом второй ИС); 4 – траектория центра тяжести (ЦТ); 5 – площадь левостороннего множества, используемая для расчета координат центра тяжести; 6 – площадь правостороннего множества, используемая для расчета координат центра тяжести (по оси абсцисс расположен нормируемый показатель качества, а по оси ординат – степень принадлежности нечетким множествам).

Fig. 4. Interpretation of the coordinates of the gravity centre of the resulting membership function for two IS: 1, 2 and 3 — operating modes (with priority of the first IS, fusion, and with priority of the second IS); 4 – trajectory of the gravity centre (GT); 5 – area of the left-side set used to calculate the coordinates of the gravity centre; 6 – the area of the right-hand set used to calculate the coordinates of the gravity centre (the normalized quality indicator is located on the abscissa axis, and the degree of membership in fuzzy sets is located along the ordinate axis).

При функционировании системы во времени критерий качества входного сигнала  $n$ , в случае нормирования (рисунок 4), будет изменяться в пределах от 0 до 1, перемещаясь из одной из трех областей в другую, и тем самым задавая режим работы. Одновременно вычисляются координаты центра тяжести функции  $\sigma_{res}$ , образующие траекторию центра тяжести. Ординаты центра тяжести интерпретируются как веса ИС:

$$w_{ИС_1} = 1 - \text{Вес}(\sigma), w_{ИС_2} = \text{Вес}(\sigma),$$

где  $w_i$  – вес  $i$ -ой ИС.

При такой интерпретации соблюдается условие инвариантности:  $\sum w_i = 1$  (4)

благодаря которому ошибка измерения не содержит динами-

ческой составляющей.

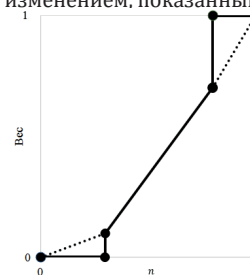
В случае использования  $N$  ИС с  $K$  критериями качества целесообразно сначала нормировать, распределив все критерии качества по группам, например, по формуле

$$k_{Ni}^j = \frac{k_i^j}{\sum_{j=1}^K k_i^j}, \text{ где } k_{Ni}^j \text{ – нормированный показатель каче-}$$

ства;  $k_i^j$  –  $j$ -ый показатель качества  $i$ -ой ИС;  $N$  – количество комплекслируемых ИС;  $K$  – общее количество показателей каче-

ства. После получения весовых коэффициентов с использованием модели выбора структуры ИС, основанной на нечеткой логике (рисунок 2) их необходимо снова нормировать (например, по формуле 3) для соблюдения условия (4).

Заданием в функции принадлежности крайних областей можно изменять приоритет критериев качества какой-либо ИС. Этого можно достигнуть изменением, показанным на рисунке 5.

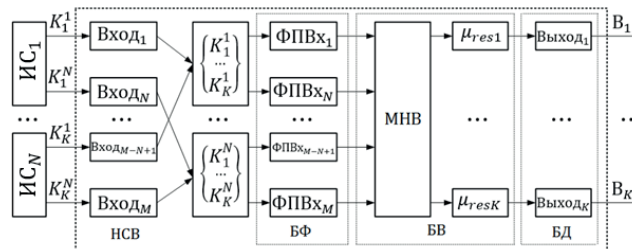


Р и с. 5. Возможный вариант задания режимов работы

Fig. 5. Possible setting of operating modes

Поскольку форма нечетких множеств задается изначально и в процессе работы не меняется, не меняется также траектория центра тяжести. Это позволяет изменить, как показано, например, на рисунке 5, крайние области, чтобы вес критерия качества ИС был равен единице по достижении определенного порога, а ниже равен 0.

Общий вид рассматриваемой системы нечеткого вывода выбора структуры ИС представлен на рисунке 6.



Р и с. 6. Общий вид нечеткой системы вывода (НСВ) выбора структуры системы комплексирования ИС:  $ИС_i$  – комплекслируемые ИС,  $K_i^j$  – критерии качества входных сигналов от ИС;  $\PhiПВХ_i$  – функции принадлежности входа МНВ;  $\mu_{res}$  – результирующие функции принадлежности;  $B_i$  – весовые коэффициенты сигналов; БФ – блок фазификации; БВ – блок вывода; БД – блок дефазификации.

Fig. 6. General view of the fuzzy inference system (FIS) of the IS integrated system structure choice:  $ИС_i$  – fusion IS,  $K_i^j$  – fusion criteria of input signals from the IS;  $\PhiПВХ_i$  – input membership functions;  $\mu_{res}$  – resulting membership functions;  $B_i$  – signal weights; БФ – fuzzification unit; БВ – output unit; БД – defuzzification unit.

На выходе НСВ комплексированный сигнал будет представляться как  $S_k = s_1 w_1 + \dots + s_k w_k$ .

Моделирование и оценка эффективности комплексирования

Рассматриваются три ИС с одним критерием качества СКО. Моделирование и оценка эффективности были проведены для двух случаев: в первом случае весовые коэффициенты вычислялись с помощью форм нечетких множеств (рисунок 5) с малыми пределами, что определяло комплексирование ИС независимо от того, какие значения принимали СКО входных сигналов ИС. Во втором случае задавались такие пределы форм нечетких множеств, что если СКО сигнала выходило за заданные пределы, то весовые коэффициенты приравнивались нулю.

Эффективность комплексирования рассчитывалась как отношение СКО комплексированного сигнала к СКО сигнала точной ИС:

$$\eta = \frac{M(S_k - S)^2}{\sigma_{\text{ИТ}}}$$

где  $\eta$  – коэффициент эффективности;  $\sigma_{\text{ИТ}}$  – СКО сигнала точной ИС;  $M$  – операция математического ожидания;  $S_k$  – комплексированный сигнал;  $S$  – истинный сигнал.

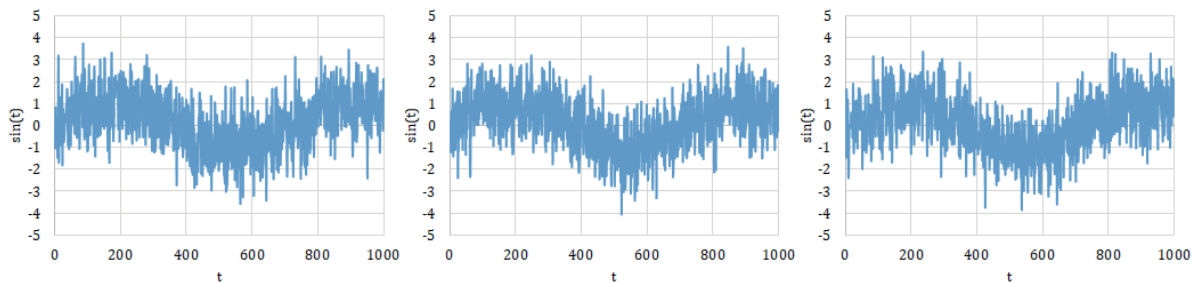
При моделировании использовалось три гармонических сигнала (синус с единичной амплитудой), зашумленные аддитивным белым шумом с нулевым математическим ожиданием. Сигналы моделировались для 1000 отсчетов, разбитых на четыре участка по 250 отсчетов в каждом. Были рассмотрены случаи, когда все сигналы имеют одинаковый уровень зашумленности; один сигнал зашумлен больше, чем два другие; два сигнала имеют разную высокую зашумленность; зашумленность всех сигналов меняется. Результаты приведены в таблицах 1–3 и рисунках 7–13.

Таблица 1. Результаты моделирования  
Table 1. Simulation results

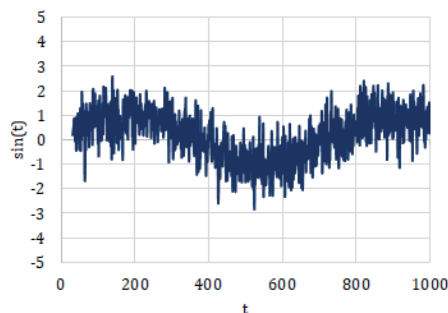
Моделируемая ситуация	Значение СКО ИС	Средний уровень СКО	$\eta$ , %
Зашумленность сигналов одинакова	$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 1$	$\sigma_k = 0,60$	40
СКО одного сигнала больше	$\sigma_1 = \sigma_2 = 1, \sigma_3 = 2$	$\sigma_k = 0,80$	20
	$\sigma_1 = \sigma_2 = 1, \sigma_3 = 3$	$\sigma_k = 0,90$	10
	$\sigma_1 = \sigma_2 = 1, \sigma_3 = 4$	$\sigma_k = 1,10$	-
СКО сигналов различно	$\sigma_1 = 1, \sigma_2 = 2, \sigma_3 = 3$	$\sigma_k = 1,05$	-

В таблице 1 представлены результаты моделирования и эффективность комплексирования в соответствии с первым случаем, когда задавались малые пределы форм нечетких множеств (рисунок 5). Из анализа таблицы следует, что комплексирование наиболее эффективно, когда все сигналы имеют одинаковую и постоянную во времени ошибку измерения по-

лезного сигнала, давая выигрыш в среднем на  $\eta = 40\%$ . С увеличением погрешности измерения одной из ИС эффективность падает, достигая уровня, сопоставимого с показаниями самой точной ИС. Аналогичный эффект имеется в случае комплексирования трех неравноточных сигналов.

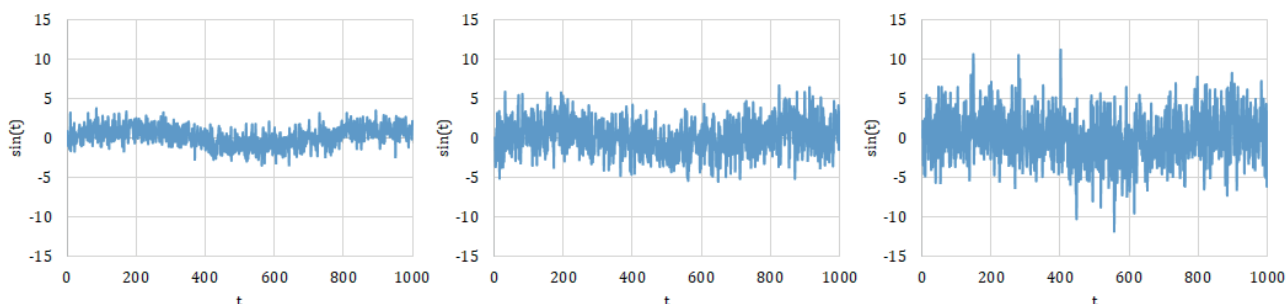


Р и с. 7. Комплексированные сигналы с одинаковым уровнем СКО ( $\sigma = 1$ )  
F i g. 7. Fused signals with the same level of standard deviation ( $\sigma = 1$ )

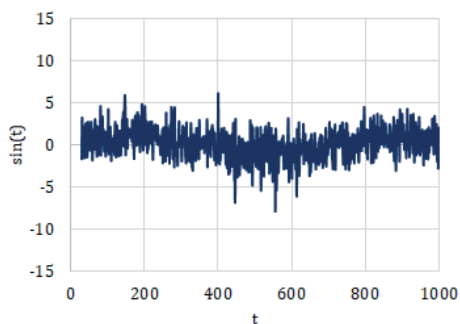


Р и с. 8. Комплексированный сигнал ( $\eta = 40\%$ )  
F i g. 8. The fused signal ( $\eta = 40\%$ )





Р и с. 9. Комплексированные сигналы с разным уровнем СКО ( $\sigma_1 = 1, \sigma_2 = 2, \sigma_3 = 3$ )  
F i g. 9. Fused signals with the different levels of standard deviation ( $\sigma_1 = 1, \sigma_2 = 2, \sigma_3 = 3$ )

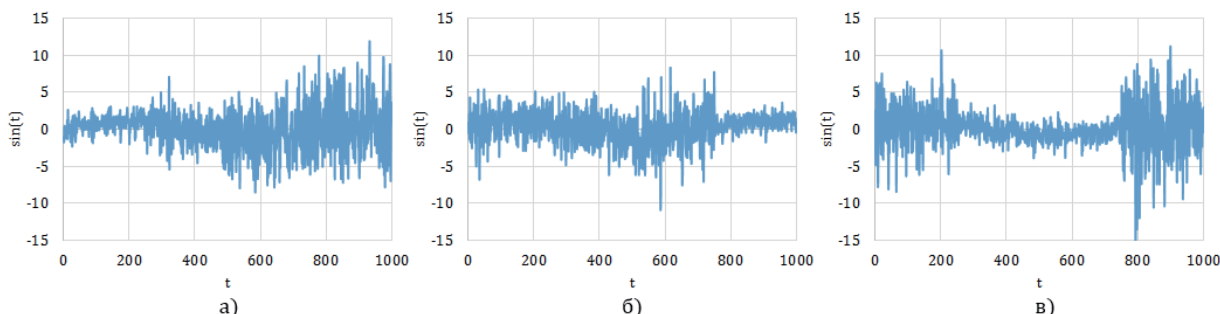


Р и с. 10. Комплексированный сигнал ( $\sigma_{S_k} = 1,54$ )  
F i g.10. The fused signal ( $\sigma_{S_k} = 1,54$ )

Таблица 2. Значения СКО сигналов ИС и комплексированного сигнала  
Table 2. The values of the standard deviation of the IS signals and the fused signal

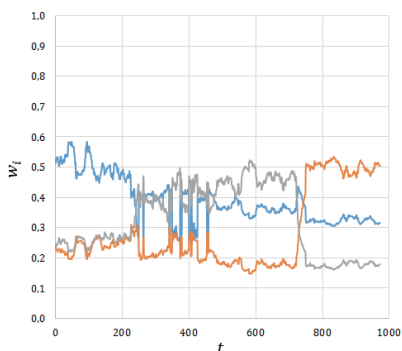
№ ИС	СКО, ед.			
	0-250	251-500	501-750	751-1000
1	1	2	3	4
2	2	3	2	1
3	3	2	1	3
HCB ( $S_k$ )	1,03	0,72	1,26	1,50

Результаты комплексирования, когда имеется три сигнала, точность которых меняется во времени (таблица 2), представлены на рисунках 11-13.



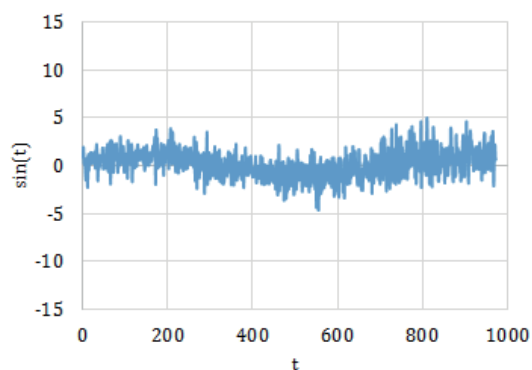
Р и с. 11. Моделируемые сигналы от трех ИС, представляющие собой синус единичной амплитуды, зашумленный аддитивным шумом  $\mathcal{N}(0; \sigma)$

F i g. 11. Simulated signals from three ISs, representing a sine of unit amplitude, noise-contaminated with additive noise  $\mathcal{N}(0; \sigma)$



Р и с. 12. Зависимость весовых коэффициентов от времени (для случая, представленного в таблице 2)

F i g. 12. The weight coefficient versus time (for the case presented in table 2)



Р и с. 13. Комплексированный сигнал  
F i g. 13. The fused signal



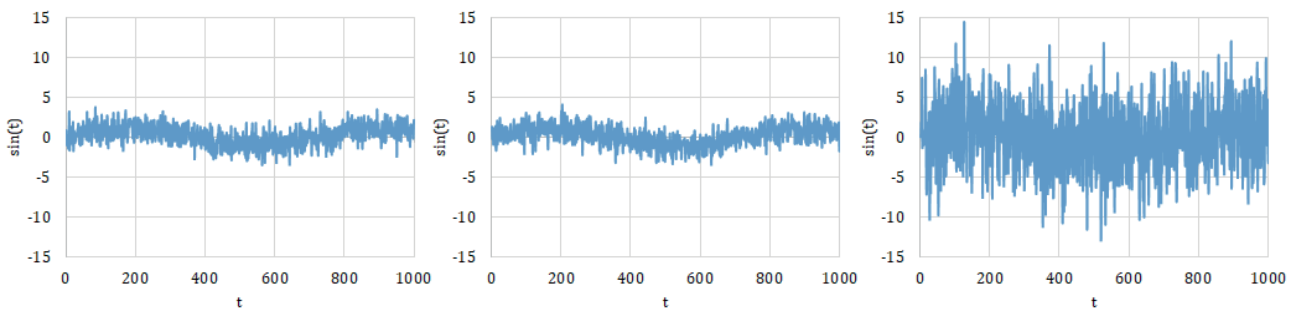
Только на втором участке из трех СКО компенсированно-го сигнала меньше СКО сигнала самой точной комплексиреуемой ИС. На первом и третьих участках СКО уже сопоставимо с СКО самой точной ИС, а на четвертом участке наблюдается существенное отличие. Подобный эффект объясняется тем, что способ комплексирования, при котором весовые коэффициенты вычисляются для любых значений сигналов, теряет свой эффект по точности, когда сигналы от одной или нескольких ИС начинают СКО с существенно значимыми значениями, и

информация, содержащая в сигналах не способна повысить точность комплексирования.

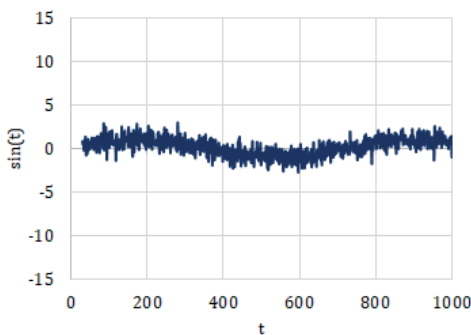
Перейдем к анализу комплексирования, когда заданы более значимые пределы форм нечетких множеств (рисунок 5) – расчет весовых коэффициентов и такой выбор структурной организации нечеткой системы комплексирования, при которой сигналы ИС, превысившие заданные пороговые значения, полностью отключаются. Результаты и оценка эффективности представлены в таблице 3 и рисунках 14 и 15.

Таблица 3. Результаты моделирования для случая объединения подходов  
Table 3. Simulation results for the case of combined approaches

Моделируемая ситуация	Значение СКО ИС	Средний уровень СКО	$\eta, \%$
Зашумленность сигналов одинакова	$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 1$	$\sigma_k = 0,60$	40
СКО одного сигнала больше	$\sigma_1 = \sigma_2 = 1, \sigma_3 = 2$	$\sigma_k = 0,70$	30
	$\sigma_1 = \sigma_2 = 1, \sigma_3 = 3$	$\sigma_k = 0,70$	30
	$\sigma_1 = \sigma_2 = 1, \sigma_3 = 4$	$\sigma_k = 0,70$	30



Р и с. 14. Комплексирование трех сигналов при сильной зашумленности одного сигнала ( $\sigma_1 = \sigma_2 = 1, \sigma_3 = 4$ )  
F i g. 14. Three fused signals in the presence of a strong noise-contamination in one of the signals ( $\sigma_1 = \sigma_2 = 1, \sigma_3 = 4$ )



Р и с. 15. Комплексированный сигнал при более значимых пределах нечетких множеств ( $\eta = 31\%$ )  
F i g. 15. Three fused signal with more significant limits of fuzzy sets ( $\eta = 31\%$ )

При отключении ИС, СКО входных сигналов которых выходят за заданные границы, удается при комплексировании обеспечить результат лучше лучшей ИС.

Общий вывод по результатам моделирования заключается в том, что эффект повышения точности при различных уровнях СКО ошибок сигналов или их высоком значении относительно других сигналов удается сохранить за счет предложенных интерпретаций основных этапов нечеткого вывода и при одновременном использовании двух подходов – вычислении весовых коэффициентов обратно пропорционально СКО и отключении ИС при выходе их критериев качества за заданные границы.

## Выводы

В статье рассмотрено комплексирование с помощью нечеткой логики сигналов неравнозначных ИС, позволяющее объединить два подхода к совместной обработке информации от нескольких источников: с помощью определения весовых коэффициентов и отключения ИС с СКО входных сигналов, превышающих заданные пороги. Произведена оценка эффективности комплексирования трех зашумленных гармонических сигналов для различных случаев уровня шума и показано, что в случае комплексирования трех ИС выигрыш по точности может достигать 40 % относительно ошибки измерения самой точной ИС.

## Список использованных источников

- [1] Гильбо Е. П., Челпанов И. Б. Оптимальное нелинейное безынерционное преобразование сигналов нескольких приборов при учете надежности их работы // Автоматика и телемеханика. 1966. № 2. С. 70-75. URL: [http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=11016&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=11016&option_lang=rus) (дата обращения: 29.07.2019).
- [2] Браславский Д. А., Якубович А. М. Оптимальное преобразование сигналов нескольких приборов с учетом погрешностей и отказов // Автоматика и телемеханика.



1968. № 10. С. 128-136. URL: [http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=10726&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=10726&option_lang=rus) (дата обращения: 29.07.2019).
- [3] Гильбо Е. П., Челпанов И. Б. Алгоритмы обработки избыточных данных, основанные на их суммировании с переменными весами (обзор) // Приборы и системы управления. 1972. № 5. С. 13-15.
- [4] Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.
- [5] Понятский В. М., Горин А. В. Комплексирование сигналов от неравнозначных информационных систем с помощью нечеткой логики // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7, № 3. С. 25-31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37112821> (дата обращения: 29.07.2019).
- [6] Понятский В. М., Горин А. В. Выбор режима работы при комплексировании информационных систем на основе нечеткой логики // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления: Всерос. конф. (Москва, 17-20 июня 2019) / Под ред. Д.А. Новикова. М.: ИПУ РАН, 2019. С. 2445-2450. DOI: 10.25728/vspru.2019.2445
- [7] Понятский В. М., Галантэ А. И., Егоров Д. Б., Макарецкий Е. А. Селекция изображений полезного источника излучения на фоне помех по комплексному критерию / Вестник ТулГУ. Сер. Радиотехника и радиооптика. 2013. Т. XIII. С. 131-136.
- [8] Егоров Д. Б., Понятский В. М., Макарецкий Е. А. Выделение пересекающихся траекторий объектов по последовательности видеок кадров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 6-2. С. 200-205. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21436516> (дата обращения: 29.07.2019).
- [9] Погорельский С. Л., Понятский В. М., Егоров Д. Б., Макарецкий Е. А., Овчинников А. В., Гублин А. С. Комплекс для исследования обработки видеоинформации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 12. Часть 2. С. 135-147. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27471903> (дата обращения: 29.07.2019).
- [10] Макарецкий Е. А., Понятский В. М., Ерёмин Н. Н. Метод повышения эффективности сегментации в системе слежения за транспортными потоками // Сборник материалов IX Международной конференции Распознавание-2010. Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработка изображений и символьной информации. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2010. С. 39-41. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27725926> (дата обращения: 29.07.2019).
- [11] Понятский В. М., Галантэ А. И., Макарецкий Е. А. Особенности проектирования алгоритмов обработки изображений в телевизионных измерительных системах // Моделирование авиационных систем. Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»; РАН, РФФИ, 2011. Том 3. С. 121-127. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21000524> (дата обращения: 29.07.2019).
- [12] Погорельский С. Л., Чинарёв А. В., Семикозов А. М. Комплексный подход к улучшению изображений комбинированных телетепловизионных приборов / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. № 7. С. 291-296. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18940853> (дата обращения: 29.07.2019).
- [13] Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.
- [14] Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. 2-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.
- [15] Бухалёв В. А. Оптимальное сглаживание в системах со случайной скачкообразной структурой. М.: Физматлит, 2013. 188 с.
- [16] Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3 т. Т. 1. 8-е изд. М.: Физматлит, 2003. 680 с.
- [17] Buckley J. J., Eslami E. An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets // Advances in Intelligent and Soft Computing. Vol. 13. Heidelberg, New York, Physica-Verl., 2002. DOI: 10.1007/978-3-7908-1799-7
- [18] Cintula P. From Fuzzy Logic to Fuzzy Mathematics. Ph.D.Thesis, Czech Technical University in Prague, Prague, 2004. 147 pp.
- [19] Fuzzy Logic – Algorithms, Techniques and Implementations / Ed. by E. P. Dadios. IntechOpen, 2012. 294 pp. DOI: 10.5772/35454
- [20] Nguyen H. T., Wu B. Fundamentals of Statistics with Fuzzy Data // Studies in Fuzziness and Soft Computing. Vol. 198. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 196 pp. DOI: 10.1007/11353492
- [21] McNeill F. M., Thro E. Fuzzy Logic: A Practical Approach. London, AP PROFESSIONAL, 1994. 292 pp.
- [22] Chen G., Pham T. T. Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems. USA: CRC Press, 2001. 329 pp.
- [23] Jin Ya. Advanced Fuzzy Systems Design and Applications // Studies in Fuzziness and Soft Computing. Vol. 112. Warsaw: Springer Physica-Verlag, 2003. 272 pp. DOI: 10.1007/978-3-7908-1771-3
- [24] Buckley J. J. Simulating Fuzzy Systems // Studies in Fuzziness and Soft Computing. Vol. 171. Warsaw: Springer, 2005. 208 pp. DOI: 10.1007/b100371
- [25] Viertl R. Statistical Methods for Fuzzy Data. New Delhi: WILEY, 2011. 268 pp.

Поступила 29.07.2019; принята в печать 25.08.2018;  
опубликована онлайн 30.09.2019.

#### Об авторах:

**Понятский Валерий Марианович**, начальник отдела, Акционерное общество «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А. Г. Шипунова» (300001, Россия, г. Тула, ул. Щегловская засека, д. 59), кандидат технических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8326-165X>, [kbkedr@tula.net](mailto:kbkedr@tula.net)

**Горин Антон Валерьевич**, ведущий инженер-исследователь, Акционерное общество «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А. Г. Шипунова» (300001, Россия, г. Тула, ул. Щегловская засека, д. 59), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1110-0002>, [tongornani@mail.ru](mailto:tongornani@mail.ru)

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

#### References

- [1] Gil'bo Ye.P., Chelpanov I.B. Optimal non-linear inertialess transform of signals of several instruments with regard for non-reliability of their operation. *Avtomatika i Telemekhanika* = Automation and Remote Control. 1966; 2:70-75. Avail-





- able at: [http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=11016&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=11016&option_lang=rus) (accessed 29.07.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [2] Braslavskii D.A., Yakubovich A.M. Optimal transformation of signals of certain devices with taking into account errors and rejections. *Avtomatika i Telemekhanika = Automation and Remote Control*. 1968; 10:128-136. Available at: [http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=10726&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=10726&option_lang=rus) (accessed 29.07.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [3] Gil'bo E.P., Chelpanov I.B. Algorithms for processing redundant data based on their summation with variable weights (review). *Pribory i sistemy upravleniya = Instruments and Systems: Control*. 1972; 5:13-15. (In Russ.)
- [4] Leonenkov A.V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modelling in the environment of MATLAB and fuzzyTECH]. SPb.: BHV-St. Petersburg, 2003. 736 pp. (In Russ.)
- [5] Ponyatsky V.M., Gorin A.V. Signal fusing of unequal accuracy information system based on fuzzy logic. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019; 7(3):25-31. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37112821> (accessed 29.07.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [6] Ponyatsky V.M., Gorin A.V. Choosing a mode of operation when fusing information systems based on fuzzy logic. In: Novikov D.A. (eds) *Proceedings of the XIII All-Russian Meeting on Control Problems* (Moscow, June 17-20, 2019). IPU RAS, Moscow, 2019, pp. 2445-2450. (In Russ.) DOI: 10.25728/vspu.2019.2445
- [7] Ponyatsky V.M., Galangte A.I., Egorov D.B., Makaretsky E.A. Selection of images of a useful source of radiation against the background of hindrances by complex criterion. *Izvestiya Tula State University. Radio engineering and radio optics*. 2013; XIII:131-136. (In Russ.)
- [8] Egorov D.B., Ponyatsky V.M., Makaretsky E.A. The Definition of Crossing Trajectories in Sequence Video Frames. *Izvestiya Tula State University. Technical sciences*. 2013; 6-2:200-205. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21436516> (accessed 29.07.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [9] Pogorelsky S.L., Ponyatsky V.M., Egorov D. B., Makaretsky E. A., Ovchinnikov A.V., Gublin A.S. Complex For Research of Processings Deo. *Izvestiya Tula State University. Technical sciences*. 2016; 12-2:135-147. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27471903> (accessed 29.07.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [10] Makaretsky E.A., Ponyatsky V.M., Eremin N.N. A method of increase in efficiency of segmentation in the system of tracking traffic flows (article). In: *Proceedings of the IX International conference "Recognition-2010". Optical-electronic devices and devices in the systems of recognition of images, processing of images and symbolical information*. KSTU, Kursk, 2010, pp. 39-41. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27725926> (accessed 29.07.2019). (In Russ.)
- [11] Ponyatsky V.M., Galangte A.I., Makaretsky E.A. Features of design of algorithms of processing of images in television measuring systems. In: *Proceedings of the MODELLING of AVIATION SYSTEMS*, FGUP "GosNIIAS", RAS, RFBR, 2011. Vol. 3, pp. 121-127. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21000524> (accessed 29.07.2019). (In Russ.)
- [12] Pogorelsky S.L., Chinaryov A.V., Semikozov A.M. A Complex Approach to Image Enhancement of Television and Infrared Devices. *Izvestiya Tula State University. Technical sciences*. 2012; 7:291-296. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18940853> (accessed 29.07.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [13] Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Design of Fuzzy Systems in MATLAB]. Moscow, Goryachaya Liniya-Telekom, 2007. (In Russ.)
- [14] Pegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie* [Indistinct modeling and the management]. 2nd ed. M.: BINOMIAL. Laboratory of knowledge, 2013. (In Russ.)
- [15] Bukhalyov V.A. *Optimal'noe sglazhivanie v sistemah so sluchajnoj skachkoobraznoj strukturoj* [Optimum smoothing in systems with accidental spasmodic structure]. Moscow, Fizmatlit, 2013. (In Russ.)
- [16] Fikhtengol'ts G.M. *Kurs differencial'nogo i integral'nogo ischisleniya* [Course of Differential and Integral Calculus]. Moscow, Fizmatlit, 2003. (In Russ.)
- [17] Buckley J.J., Eslami E. An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol. 13. Heidelberg, New York, Physica-Verl., 2002. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-3-7908-1799-7
- [18] Cintula P. *From Fuzzy Logic to Fuzzy Mathematics*. Ph.D. Thesis, Czech Technical University in Prague, Prague, 2004. 147 pp. (In Eng.)
- [19] Fuzzy Logic – Algorithms, Techniques and Implementations. E. P. Dadios (ed). IntechOpen, 2012. (In Eng.) DOI: 10.5772/35454
- [20] Nguyen H.T., Wu B. Fundamentals of Statistics with Fuzzy Data. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, vol. 198. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. (In Eng.) DOI: 10.1007/11353492
- [21] McNeill F.M., Thro E. *Fuzzy Logic: A Practical Approach*. London, AP PROFESSIONAL, 1994. (In Eng.)
- [22] Chen G., Pham T.T. *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*. USA: CRC Press, 2001. (In Eng.)
- [23] Jin Ya. *Advanced Fuzzy Systems Design and Applications*. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, vol. 112. Warsaw: Springer Physica-Verlag, 2003. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-3-7908-1771-3
- [24] Buckley J.J. *Simulating Fuzzy Systems*. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, vol. 171. Warsaw: Springer, 2005. (In Eng.) DOI: 10.1007/b100371
- [25] Viertl R. *Statistical Methods for Fuzzy Data*. New Delhi: WILEY, 2011. (In Eng.)

Submitted 29.07.2019; revised 25.08.2019;  
published online 30.09.2019.

#### About the authors:

**Valeriy M. Ponyatsky**, Head of Department, KBP Instrument Design Bureau (59 Shcheglovskaya Zaseka Str., Tula 300001, Russia), Ph.D. (Engineering), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8326-165X>, [kbkedr@tula.net](mailto:kbkedr@tula.net)

Anton V. Gorin, Lead Research Engineer, KBP Instrument Design Bureau (59 Shcheglovskaya Zaseka Str., Tula 300001, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1110-0002>, [tongornani@mail.ru](mailto:tongornani@mail.ru)

All authors have read and approved the final manuscript.

