

References

1. Khidhir B. A., Al-Oqaiel W., Kareem P. M. Prediction Models by Response Surface Methodology for Turning Operation, *Am. J. of Model. and Optim.*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 1–6.
2. Sarmasti Emami M. R., Fuzzy Logic Applications in Chemical Processes, *The J. of Math. and Comput. Sci.*, 2010, vol. 1, no. 4, pp. 339–348.
3. Krishnamoorthy S. Linguistic features for review helpfulness prediction, *Expert Syst. with Appl.*, 2015, vol. 42, no. 7, pp. 3751–3759.
4. Nasrollahzadeh K., Basiri M. M. Prediction of shear strength of FRP reinforced concrete beams using fuzzy inference system, *Expert Syst. with Appl.*, 2014, vol. 41, no. 4, pp. 1006–1020.
5. Salski A., Bartels F. A fuzzy approach to land evaluation. *IASME Trans.*, 2005, vol. 5, no. 2, pp. 774–780.
6. Kizhisseri M. I., Mohamed M. M. A. Fuzzy-based wastewater quality indices for pollution classification: a case study in the United Arab Emirates, *Environ. Syst. and Decis.*, 2016, vol. 36, no. 1, pp. 62–71.
7. Chandra P. H., Kalavathy S. M. S. T., Jayaseeli A. M. I., Karoline J. P. Mechanism of fuzzy ARMS on chemical reaction, *Adv. in Intell. Syst. and Comput.*, 2016, no. 424, pp. 43–53.
8. Germashev I. V., Derbisher V. E., Morozenko T. F., Orlova S. A. Otsenka kachestva tehnikeskikh ob'ektov s ispolzovaniem nechyotkikh mnozhestv, *Zavod. Lab. Diagn. Mater.*, 2001, vol. 67, no. 1, pp. 65–68 (Germashev I. V., Derbisher V. E., Morozenko T. F., Orlova S. A. Assessment of technical objects quality using fuzzy multitudes, *Zavod. Lab. Diagn. Mater.*, 2001, vol. 67, no. 1, pp. 65–68 (in Russian)).
9. Germashev I. V., Derbisher V. E. Optimizatsiya sostava polimernykh kompozitsiy s ispolzovaniem teorii nechyotkikh mnozhestv, *Teor. Osn. Him. Tehnol.*, 2001, vol. 35, no. 4, pp. 440–443 (Germashev I. V., Derbisher V. E. Optimization of a compound of polymer compositions using the theory of fuzzy multitudes, *Teor. Osn. Him. Tehnol.*, 2001, vol. 35, no. 4, pp. 440–443 (in Russian)).
10. Kumykov R. M. *Rastvorimye, termo- i ognestoykie poligeteroarileny na osnove proizvodnykh hloralaya*. Chemical sciences doctor dissertation abstract, Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, 2010. (Kumykov R. M. Soluble, thermo resistant and fire-proof polyheteroarylenes on the basis of chloral derivatives. Chemical sciences doctor dissertation abstract, Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, 2010 (in Russian)).
11. Orazbayev B. B. *Metody mnogokriterialnogo vybora i intellektualnye sistemy prinyatiya resheniy dlya upravleniya proizvodstvennymi ob'ektami pri nechyotkoy ishodnoy informatsii*. Technical sciences doctor dissertation abstract, Moscow, 1996, Moscow State Institute of Steel and Alloys (technological university) (Orazbayev B. B. Methods of multiple criteria and intellectual systems of making decisions for the management of industrial objects along with fuzzy initial information, Technical sciences doctor dissertation abstract, Moscow State Institute of Steel and Alloys (technological university), Moscow, 1996 (in Russian)).
12. Orlov A. I., Lutsenko E. V. *Sistemnaya nechyotkaya intervalnaya matematika*. KSAU, Krasnodar, 2014. (Orlov A. I., Lutsenko E. V. System fuzzy interval mathematics, KSAU, Krasnodar, 2014 (in Russian)).
13. Orlov A. I. *Nechislovaya statistika*. MZ-Press, Moscow, 2004. (Orlov A. I. Nonnumeric statistics. MZ-Press, Moscow, 2004 (in Russian)).
14. Egrioglu E., Aladag C. H., Basaran M. A., Yolcu U., Uslu V. R. A new approach based on the optimization of the length of intervals in fuzzy time series, *J. of Intell. and Fuzzy Syst.*, 2011, vol. 22, no. 1, pp. 15–19.
15. Voskoglou M. Gr., Subbotin I. Ya. Application of the Triangular Fuzzy Model to Assessment of Analogical Reasoning Skills, *Am. J. of Appl. Math. and Stat.*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 1–6.
16. Meshalkin V. P. *Expertnye sistemy v himicheskoy tehnologii Chemistry*, Moscow, 1995, (Meshalkin V. P. Expert systems in chemical engineering, Chemistry, Moscow, 1995 (in Russian)).
17. Germashev I. V., Derbisher V. E. Properties of unimodal membership functions in operations with fuzzy sets, *Russ. Math. (Iz VUZ)*, 2007, vol. 51, no. 3, pp. 72–75.
18. Polimernye materialy, available at: <http://www.polymer-branch.com/> (accessed 03.05.15) (in Russian).

УДК 629.783; 621.396

Х. Г. Асадов, д-р техн. наук, проф., e-mail: asadzade@rambler.ru, Ш. Н. Джахидзаде, докторант, Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджан,

М. И. Керимова, диссертант,

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г. Баку, Азербайджан

Метод дискретно-вариационной оптимизации систем дистанционного зондирования

Современные компьютерные методы оптимизации (генетический метод, метод нейронных сетей, метод нечетких множеств, метод мультиагентов и т. д.) требуют разработки или наличия соответствующего программного обеспечения и неприемлемы для применения в отдельных нестандартных случаях, требующих принятия оперативного рационального или оптимального продолжения решения. Указанная задача более или менее удачно решается в многокритериальных или многоуровневых методах оптимизации. Однако эти методы отличаются большой трудоемкостью и не позволяют принимать оперативное решение в создавшихся нестандартных ситуациях. Показана необходимость разработки новых методов оптимизации систем дистанционного зондирования, специфика работы которых заключается в наличии существенного влияния окружающей среды в зоне прохождения зондирующего и отраженного сигналов. Изложен предлагаемый метод дискретно-вариационной оптимизации информационных систем. Дано математическое обоснование предлагаемого метода. Предложен алгоритм реализации этого метода.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, оптимизация, окружающая среда, информационный критерий, функционал

Введение

Как отмечается в работе [1], в начале второй половины 20-го века в связи с развитием косми-

ческой техники был получен ряд важных результатов, обобщающих известные положения теории вариационного исчисления. Сюда относятся принцип максимума, метод динамического про-

граммирования, метод Кротова, метод Милютин—Дубовицкого и ряд других работ. Согласно работе [2], наличие помех в канале измерения приводит к необходимости фильтрации результатов измерения с учетом модели объекта. При этом оптимизация процесса измерений может быть осуществлена выбором оптимальной математической модели объекта, оптимальным выбором временного промежутка и наилучшим распределением моментов измерения внутри этого промежутка. Так, например согласно [3], при решении задач перевода самолета из заданной исходной точки в заданную конечную точку для оптимизации качества управления возможна реализация прямого вариационного метода, что позволяет генерировать траектории в темпе реального времени.

Как указывается в работе [4], вариационные методы анализа настолько глубоко проникли в теорию и практику автоматического регулирования, что каждый новый результат в этой области представляет определенный практический интерес. Одним из таких качественно новых результатов является "волновой" метод, основанный на аналогии между нахождением глобального экстремума интегрального функционала и распространением света в оптически неоднородной среде [5]. Вместе с тем ряд задач аэродинамического проектирования не могут быть решены классическими вариационными методами для течений с циркуляцией и локальными ограничениями [6]. Согласно работе [7], вариационный метод может быть использован для решения задач устранения шума, а также задач обработки изображений. При этом могут быть рассмотрены гауссовские и пуассоновские шумы. Как указывается в работе [1], современные задачи управления характеризуются наличием разнообразных ограничений, а также основными дифференциальными связями, что ограничивает их практическое использование. При этом, согласно [6], в практических задачах проектирования и оптимизации важным является выбор целевого функционала.

В работах [8, 9] были рассмотрены вопросы оптимизации измерительных систем и систем дистанционного зондирования по информационному критерию. В указанных работах на основе конкретных примеров ставилась цель нахождения оптимальной временной зависимости отношения сигнал/шум в смысле достижения целевым функционалом экстремального значения за определенный временной промежуток t_1 в случае выполнения особого ограничительного условия, налагаемого на отношение сигнал/шум. Решение указанной задачи позволило получить аналитическое выражение оптимальной зависимости отношения сигнал/шум от времени, при которой целевой функционал достигает экстре-

мальной величины. Вместе с тем в указанных работах не нашел своего решения следующий вопрос: в каких условиях функция зависимости отношения сигнал/шум от времени, отличная от экстремали выбранного целевого функционала, удовлетворяющая условию ограничения, примененного также к экстремали за период $0 - t_1$, за более длительное время $t_2 > t_1$ может обеспечить более высокую информативность системы.

В настоящей работе изложены результаты проводимого анализа, позволяющего решить этот вопрос.

Предлагаемый метод

Общая схема рассматриваемой системы дистанционного зондирования показана на рисунке.

Считаем, что вследствие различных динамических процессов, происходящих во внешней среде прохождения зондирующего сигнала, динамический диапазон отраженных с объекта сигналов подвергается изменению во времени, т. е. имеем функцию

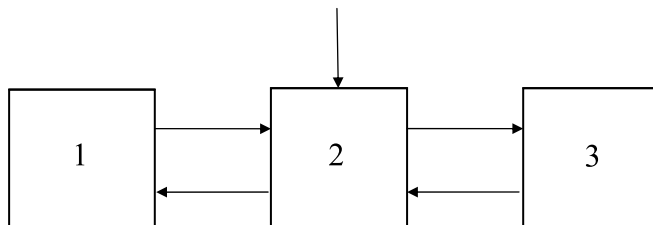
$$\psi = \psi(t), \quad (1)$$

где ψ — динамический диапазон отраженных от объекта сигналов, определяемый как

$$\psi(t) = \frac{U_{\max}(t)}{U_{\min}}, \quad (2)$$

здесь $U_{\max}(t)$ — максимально возможный сигнал, отраженный от объекта; $0 \leq t \leq t_0$; $U_{\min} = 3\sigma_m$, где σ_m — СКО шумов в канале.

Рассматривается бинарное множество функций $\Phi_1 = \{\psi(t), \psi_1(t)\}$, где $\psi(t)$ подлежит вычислению по критерию максимальной информативности системы в интервале $0 < t \leq t_0$; а $\psi_1(t)$ подлежит подбору по тому же критерию в интервале $0 < t \leq t_1$, где $t_1 > t_0$. При этом требуется вычислить условия, при котором выбор $\psi_1(t)$ в смысле достижения высокой информативности более предпочтителен, чем $\psi(t)$.



Общая схема системы дистанционного зондирования:

1 — узел передачи зондирующего сигнала и обработки принятого сигнала; 2 — внешний канал передачи зондирующего и отраженного сигнала; 3 — объект излучения

Реализация метода

Рассмотрим механизм вычисления первого элемента множества Φ_1 , т. е. функции $\psi(t)$. Информационный критерий, применяемый для вычисления $\psi(t)$, имеет вид

$$M_1 = \sum_{i=1}^n N(t_i) \log_2 \psi(t_i) dt, \quad (3)$$

где в дискретной сумме (3) $N(t_i)$ — число отсчетов, осуществляемых в момент t_i . Считаем, что изучаемый объект пространственно информативный и в фиксированный момент t_i возможно параллельное проведение $N(t_i)$ измерений.

Выражение (3) запишем в условно-непрерывном виде:

$$M_{10} = \int_0^{t_0} N(t) \log_2 \psi(t) dt. \quad (4)$$

На функцию $\psi(t)$ налагается следующее ограничительное условие:

$$\int_0^{t_0} \psi(t) dt = C_1, \text{ где } C_1 = \text{const.} \quad (5)$$

С учетом выражений (4) и (5) составим полный функционал безусловной вариационной оптимизации:

$$M_{20} = \int_0^{t_0} N(t) \log_2 \psi(t) dt + \lambda \left[\int_0^{t_0} \psi(t) dt - C_1 \right], \quad (6)$$

где λ — множитель Лагранжа.

Рассмотрим решение оптимизационной задачи (6). Согласно уравнению Эйлера [10], оптимальная функция $\psi(t)$, приводящая функционал (6) к его экстремальному значению, должна удовлетворить условию

$$\frac{d \{ N(t) \cdot \log_2 \psi(t) + \lambda [\psi(t) - C_1] \}}{d\psi(t)} = 0. \quad (7)$$

С учетом условия (7) имеем

$$\frac{N(t)}{\psi(t) \cdot \ln 2} + \lambda = 0. \quad (8)$$

Из выражения (8) находим

$$\psi(t) = -\frac{N(t)}{\lambda \ln 2}. \quad (9)$$

С учетом выражений (3) и (9) получим

$$-\int_0^{t_0} \frac{N(t)}{\lambda \ln 2} dt = C_1. \quad (10)$$

Из выражения (10) находим

$$\lambda = -\int_0^{t_0} \frac{N(t)}{C_1 \cdot \ln 2} dt. \quad (11)$$

Применительно к функции $N(t)$ можно рассмотреть следующие варианты:

$$1) N(t) = k_1 \cdot t; \quad (12)$$

$$2) N(t) = N_0 - k_2 \cdot t. \quad (13)$$

Рассмотрим случай (12), когда число параллельно проводимых измерений в момент t , $0 \leq t \leq t_0$, растет по линейному закону. С учетом выражений (11) и (12) получим

$$\lambda = -\frac{k_1 \cdot t_0^2}{2C_1 \cdot \ln 2}. \quad (14)$$

Из выражений (7), (12), (14) получим

$$\psi(t)_{\text{opt}} = \frac{2C_1 \cdot t}{t_0^2}. \quad (15)$$

Таким образом, при решении (15) функционал (6) достигает экстремального значения. Для выяснения типа экстремума можно вычислить вторую производную интегранта в выражении (6) и убедиться, что она отрицательна, т. е. функционал (6) при решении (15) достиг бы максимального значения.

Рассмотрим условия решения указанной выше задачи исследования условий расширения временного интервала до значения $0 \leq t \leq t_1$. Допустим, что имеется функция $\psi_{11}(t)$, удовлетворяющая условию

$$\int_0^{t_1} \psi_{11}(t) dt = C_1. \quad (16)$$

В этом случае функционал (6) применительно к функции $\psi_{11}(t)$ может быть записан в следующем виде:

$$M_{21} = \int_0^{t_1} N(t) \cdot \log_2 \psi_{11}(t) dt. \quad (17)$$

Допустим, что функция $\psi_{11}(t)$ сепарабельна, т. е. может быть представлена в виде

$$\psi_{11}(t) = k_1(t) \cdot \psi(t). \quad (18)$$

С учетом условия

$$t_1 = t_0 + \Delta t, \quad (19)$$

а также выражения (18), функционал (17) может быть представлен как

$$\begin{aligned} M_{21} &= \int_0^{t_0} N(t) \cdot \log_2 \psi_{11}(t) dt + \int_{t_0}^{t_1} N(t) \log_2 \psi_{11}(t) dt = \\ &= \int_0^{t_0} N(t) \cdot \log_2 k(t) dt + \int_0^{t_0} N(t) \log \psi(t) dt + \\ &\quad + \int_{t_0}^{t_1} N(t) \log_2 \psi_{11}(t) dt. \end{aligned} \quad (20)$$

С учетом выражений (4) и (20) вычислим разность

$$\begin{aligned}\Delta M_1 &= M_{21} - M_{10} = \\ &= \int_0^{t_0} N(t) \cdot \log_2 k(t) dt + \int_{t_0}^{t_1} N(t) \log_2 \psi_{11}(t) dt = \\ &= \int_0^{t_1} N(t) \cdot \log_2 k(t) dt + \int_{t_0}^{t_1} N(t) \log \psi(t) dt.\end{aligned}\quad (21)$$

Таким образом, ответ на приведенный выше первый вопрос может быть сформулирован следующим образом: при выполнении условия $\Delta M_1 > 0$ функция $\psi_{11}(t)$, удовлетворяющая условиям (16) и (18), может обеспечить более высокую информативность системы.

Модельное исследование

Проведем модельное исследование по первому вопросу, т. е. по функции $\psi_{11}(t)$. Допустим, что осуществлен произвольный выбор функции $\psi_{11}(t)$, т. е.

$$\psi_{11M}(t) = C_3 \cdot t^2. \quad (22)$$

В этом случае согласно (5) получим

$$\int_0^{t_1} C_3 \cdot t^2 dt = C_1. \quad (23)$$

Из выражения (23) находим

$$t_1 = \sqrt[3]{\frac{3C_1}{C_3}}. \quad (24)$$

С учетом выражения (15) функцию ψ_{11M} представим как

$$\psi_{11M} = \left(\frac{2C_1 \cdot t}{t_0^2} \right) \cdot \left(\frac{C_3 t \cdot t_0^2}{2C_1} \right) = k_3(t) \cdot \psi(t), \quad (25)$$

где

$$k_3(t) = \left(\frac{C_3 t \cdot t_0^2}{2C_1} \right). \quad (26)$$

Следовательно, с учетом выражений (21) и (26) следует доказать неотрицательность величины ΔM_1 , с учетом замены нуля в нижнем пределе на t_{01} , где $0 < t_{01} < t_1$, т. е.

$$\begin{aligned}\Delta M_1 &= \int_{t_{01}}^{t_1} N(t) \cdot \log_2 \frac{C_3 t_0^2 \cdot t}{2C_1} dt + \\ &+ \int_{t_0}^{t_1} N(t) \log_2 \psi(t) dt.\end{aligned}\quad (27)$$

В случае $\psi = 1$ при $t_0 < t < t_1$ второй член в (27) равен нулю. Что касается первого члена в (27), то при фиксированных C_3 и C_1 всегда можно выбрать такое значение t_0 , которое обеспечило бы положительное значение ΔM_1 .

С учетом выражения (27) таким значением будет

$$t_0 > \sqrt{\frac{2C_1}{C_3 \cdot t_1}}. \quad (28)$$

С учетом выражений (23) и (28) получим

$$t_0 > t_1 \sqrt{\frac{2}{3}}. \quad (29)$$

Таким образом, предлагаемый метод дискретно-вариационной оптимизации позволяет:

- определить тот интервал времени t_0 , в течение которого оптимальная режимная функция $\psi(t)$, вычисленная по информационному критерию, будет предпочтительной по сравнению со вторым элементом бинарного множества режимных функций, элементы которого подвержены единому ограничительному условию;

- определить более продолжительный интервал времени t_1 , в течение которого специально подобранная режимная функция $\psi_1(t)$ будет предпочтительней, чем $\psi(t)$.

Заключение

В заключение сформулируем основные выводы проведенного исследования.

1. Показана необходимость разработки новых методов оптимизации систем дистанционного зондирования, специфика работы которых заключается в наличии существенного влияния окружающей среды в зоне прохождения зондирующего и отраженного сигналов.

2. Изложен предлагаемый метод дискретно-вариационной оптимизации информационных систем. Дано математическое обоснование предлагаемого метода.

Список литературы

1. Гурман В. И., Расина И. В., Блинов А. О. Эволюция и перспективы приближенных методов оптимального управления // Программные системы. Теория и приложения. 2011. № 2 (6). С. 11—29.
2. Мочалов И. А., Пригожин Л. Б. Вариационная задача оптимизации измерений в алгоритмах идентификации и управления // Kybernetika, 1987. Т. 23. Вып. 6. С. 498—514.
3. Лам Т. Т. Решение краевой задачи формирования траектории движения самолета при выполнении пространственного маневра // Электронный журнал "Труды МАИ". 2014. Вып. № 78.

4. Кротов В. Ф. Методы решения вариационных задач на основе достаточных условий абсолютного минимума // Автоматика и телемеханика. 1962. Т. 23, № 12. С. 1571–1583.
5. Казаков А. Л., Лемперт Ф. Ф. Об одном подходе к решению задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике // Автоматика и телемеханика. 2011. № 7. С. 50–61.
6. Аульченко С. М., Латыпов Ф. Ф., Никуличев Ю. В. Методы проектирования и оптимизации крыльевых профилей в дозвуковом потоке // Теплофизика и аэромеханика. 1999. Т. 6, № 4. С. 429–439.
7. Данг Н. Х. Т. Устранение гауссовского и пуассоновского шумов на растровых изображениях // Известия Туль-

ского государственного университета. Серия Естественные науки. 2014. Вып. 4. С. 127–142.

8. Асадов Х. Г. Оптимизация и синтез экстремальных информационно-измерительных систем дистанционного зондирования // Измерительная техника. 2002. № 7. С. 55–57.
9. Асадов Х. Г. Применение принципа параметрического уменьшения размерности для синтеза одного подкласса информационных систем и планирования измерительного эксперимента // Измерительная техника. 2003. № 6. С. 3–7.
10. Эльсгольц Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1974. 432 с.

H. H. Asadov, Professor, e-mail: asadzade@rambler.ru, **Sh. N. Jahidzadeh**, Doctorant,
National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan
M. I. Kerimova, Dissertant,
Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

Method of Discrete Variation Optimization of Remote Sensing Systems

The modern computer methods of optimization (genetic methods, method of neuron networks, method of fuzzy nets, multi-agents method, etc) requires development or presence of relevant software and not acceptable for utilization in some non-standard cases demanding operative rational or optimum continuation of previously accepted decision. Such type of tasks in some cases can be solved using multi-criteria or multi-level methods of optimization. But these methods are laborious and don't allow to take an operative decisions in non-standard situations. In the article the necessity for development of new methods for optimization of remote sensing systems is shown. It is stressed out that feature of such systems is that presence of significant effect of environment on sensing and reflected signal in the channel of its transfer. The suggested method of discrete-variation optimization of information systems is described. The mathematical grounding of the method is given. The realization algorithm of suggested method is developed.

Keywords: remote sensing, optimization, environment, information criteria, functional

References

1. Gurman V. I., Rasina I. V., Blinov A. O. Jevoljucija i perspektivy priblizhennyh metodov optimal'nogo upravljenja, *Programnyye sistemy. Teorija i prilozhenija*, 2011, no. 2 (6), pp. 11–29. (V. I. Gurman, I. V. Rasina, A. O. Blinov. Evolution and perspectives of proximate methods of optimum control. *Software. Theory and application*, 2011, no. 2 (6), pp. 11–29. (in Russian).
2. Mochalov I. A., Prigozhin L. B. Variacionnaja zadacha optimizacii izmerenij v algoritmah identifikacii i upravljenja, *Kybernetika*, 1987, vol. 23, is. 6, pp. 498–508. (I. A. Mochalov, L. B. Prigozhin. Variation task of optimization of measurements in algorithms of identification and control, *Cybernetics*, 1987, vol. 23, is. 6, pp. 498–508.) (in Russian).
3. Lam T. T. Reshenie kraevoj zadachi formirovanija traektorii dvizhenija samoleta pri vypolnenii prostranstvennogo manevra, *Jelettronnyj zhurnal "Trudy MAI"*, 2014, is. 78. (T. T. Lam. Solution of border task of formation of trajectory of aircraft motion upon carrying out of spatial maneuvers). (in Russian).
4. Krotov V. F. Metody reshenija variacionnyh zadach na osnove dostatochnyh uslovij absoljutnogo minimuma, *Avtomatika i Telemekhanika*, 1962, vol. 23, no. 12, pp. 1571–1583. (V. F. Krotov. Methods of solution of variation tasks on the basis of sufficient conditions of absolute minimum. *Automation and Telemekhanics*, 1962, vol. 23, № 12, pp. 1571–1583) (in Russian).
5. Kazakov A. L., Lempert F. F. Ob odnom podhode k resheniju zadach optimizacii voznikajushih v transportnoj logistike. *Avtomatika i Telemekhanika*, 2011, no. 7, pp. 50–61 (A. L. Kazakov,

F. F. Lempert. On one approach towards solution of optimization tasks occurred in transport logistics. *Automation and Telemekhanics*. 2011, no. 7, pp. 50–61) (in Russian).

6. Aul'chenko S. M., Latypov F. F., Nikulichev Ju. V. Metody proektirovanija i optimizacii kryl'evyh profilej v dozvukovom potoke, *Teplofizika i aeromehanika*, 1999, vol. 6, no. 4, pp. 429–439 (in Russian).
7. Dang N. H. T. Ustranenie gaussovskogo i puassonovskogo шумов на растровых изображениях, *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Estestvennye nauki*, 2014, is. 4, pp. 127–142 (in Russian).
8. Asadov H. G. Optimizacija i sintez jekstremal'nyh informacionno-izmeritel'nyh sistem distancionnogo zondirovanija, *Izmeritel'naja tehnika*, 2002, no. 7, pp. 55–57 (Asadov H. H. Optimization and synthesis of extremum information-measuring systems of remote sensing. *Measuring Techniques*. 2002, no. 7, pp. 55–57) (in Russian).
9. Asadov H. G. Primenenie principa parametricheskogo umen'shenija razmernosti dlja sinteza odnogo podklassa informacionnyh sistem i planirovanija izmeritel'nogo jeksperimenta, *Izmeritel'naja tehnika*, 2003, no. 6, pp. 3–7. (Asadov H. H. Application of the principle of parametric decrease of measure for synthesis of one subclass of information systems and planning of measuring experiments. *Measuring Technoques*, 2003, no. 6, pp. 3–7) (in Russian).
10. Jel'sgol'c L. Je. *Differencial'nye uravnenija i variacionnoe ischislenie*. Moscow, Nauka, 1974, 432 p. (Elsgolts L. E. Differential equations and variation computation. Moscow, Nauka, 1974, 432 p.) (in Russian).