

технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; доцент, кафедри Електронних приладів та пристроїв, вул. Політехнічна, 16, корпус №12. Київ, Україна, 03056; e-mail: zhovnir101@gmail.com

Жовнир Николай Федорович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»; доцент кафедры Электронных приборов и устройств, ул. Политехническая, 16, корпус №12. Киев, Украина, 03056; e-mail: zhovnir101@gmail.com

Zhovnir Mykola – candidate of technical sciences, senior research assistant, associate professor, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»; Department of Electronic Devices and Equipment, Polytechnique str, 16, Kyiv, Ukraine, 03056, e-mail: zhovnir101@gmail.com

УДК 551.501: 551.509

Х. Г. АСАДОВ, Ш. Н. ЗЕЙНАЛОВА

МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНО-ВАРИАЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ОЗОНОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ

Предложен метод многокритериально-вариационной оптимизации для решения специализированных задач физики атмосферы, в частности для многодиапазонных интегрированных озонOMETРИЧЕСКИХ измерений. Предлагаемый метод предусматривает наложение определенного ограничения на интеграл второго члена взвешанной скалярной суммы частных критериев парафазно зависящих от искомой функции, определяющей условия проведения измерительного эксперимента. Конкретно рассмотрена задача оптимального интегрированного во времени измерения общего количества озона в атмосфере при использовании бортового комплекса, осуществляющего измерения в ультрафиолетовом и видимом диапазонах.

Ключевые слова: вариационная оптимизация, измерения, свертка, атмосфера, озонOMETрия, многокритериальная оптимизация

Запропоновано метод багатокритеріально-варіаційної оптимізації для вирішення спеціалізованих завдань фізики атмосфери, зокрема для багатодіапазонних інтегрованих озонOMETРИЧНИХ вимірювань. Пропонований метод передбачає накладення певного обмеження на інтеграл другого члена взвешанной скалярной суми приватних критеріїв парафазні залежать від шуканої функції, що визначає умови проведення вимірювального експерименту. Саме розглянуто задачу оптимального інтегрованого в часі вимірювання загальної кількості озону в атмосфері при використанні бортового комплексу, що здійснює вимірювання в ультрафіолетовому та видимому діапазонах.

Ключові слова: варіаційна оптимізація, вимірювання, згортка, атмосфера, озонOMETрія, багатокритеріальна оптимізація

The method of multicriterial-variation optimization is suggested for solution of some specialized tasks of atmospheric physics, particularly for multi-band integrated ozonOMETRIC measurements. The suggested method provides for application of some limitation on integral of the second member of weighted scalar sum of partial criterions which concurrently depend on looked for function, determining the conditions of measuring experiment. Concretely the task on optimum integrated measurements of total amount of atmospheric ozone using the onboard measuring complex, carrying out measurements in ultraviolet and visible bands. The optimality is accepted as reaching the extremum of weighted sum of channels signals. The optimum function of noisy effect of atmospheric aerosol providing the optimum measurements is searched for. The optimum function of noises depends on weight function of complexes channels. Such a dependence make it possible to use the weight function of channels as a control function to lead the function into optimum regime of operation by maximum differentiation of noises function from, optimum type of latter.

Keywords: variation optimization, measurements, convolution, atmosphere, ozonOMETrics, multicriterial optimization

Введение. Актуальность проведения атмосферных озонOMETРИЧЕСКИХ измерений общеизвестна. Атмосферный озон, точнее говоря озоновый слой стратосферы поглощая биологически опасную ультрафиолетовую радиацию Солнца практически выступает гарантом существования всего живого на Земле. ОзонOMETРИЧЕСКИЕ измерения в настоящее время осуществляются на Земле повсеместно с использованием глобальных, региональных и локальных измерительных сетей и систем. ОзонOMETРИЧЕСКИЕ измерения в принципе могут быть осуществлены в ультрафиолетовом (0,31–0,32 мкм), видимом (0,5–0,7) мкм и инфракрасном (9,8 мкм) диапазонах [1]. В настоящей статье рассматриваются вопросы оптимальных комплексных озонOMETРИЧЕСКИХ измерений в береговых урбанизированных территориях совместно в двух диапазонах (в ультрафиолетовом и видимом). Береговые урбанизированные территории характеризуются резкими структурными изменениями атмосферного аэрозоля в зависимости от направления ветра. Так при ветре с моря в атмосфере господствует крупнодисперсный морской аэрозоль, а при ветре с материка преобладает мелкодисперсный городской аэрозоль

[2]. Указанное обстоятельство диктует необходимость разработки новых измерительных методик с привлечением соответствующей математической базы. В настоящей статье мы рассмотрим возможность применения предлагаемого метода многокритериально-вариационной оптимизации для решения задачи проведения оптимальных озонOMETРИЧЕСКИХ измерений в береговых урбанизированных территориях [3, 4].

Оптимизация озонOMETРИЧЕСКИХ измерений в прибрежных зонах. Известно [1, 2], что некоторые многокритериальные задачи могут быть приведены к форме линейной скалярной свертки используемых частных критериев и нормированных весовых коэффициентов в виде

$$F_0 = \alpha_1 \cdot F_1[x(t)] + \alpha_2 F_2[x(t)] + \dots + \alpha_n F_n[x(t)] = \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i[x(t)], \quad (1)$$

где:

$$\alpha_i, i = (\overline{1, n}),$$

весовые коэффициенты, удовлетворяющие условию нормировки

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1,$$

где $F_i[x(t)]$ – i -й частный критерий или частный функционал оптимизации, $x(t)$ – искомая функция текущего времени t .

Задача оптимизации формируется с учетом тех критериев F_i , которые взаимно конкурируют [2]. Если $F_1[x(t)]$ и $F_2[x(t)]$ являются конкурирующими критериями, то задача двухкритериальной оптимизации составляется в виде

$$F_{01} = \alpha_1 \cdot F_1[x(t)] + \alpha_2 F_2[x(t)], \quad (2)$$

где

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1, \quad (3)$$

В общем случае можно рассмотреть случай

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_1(t), \\ \alpha_2 &= \alpha_2(t), \end{aligned} \quad (4)$$

а выражение (2) показать в интегральной форме, т. е.

$$F_{01.H} = \int_0^{t_m} F_{01} dt = \int_0^{t_m} \alpha_1(t) \cdot F_1[x(t)] dt + \int_0^{t_m} \alpha_2(t) F_2[x(t)] dt, \quad (5)$$

где t_m – максимальная величина t .

Для решения задачи нахождения оптимальной функции $x(t)$ введем ограничение на второй член в правой части (5).

$$\int_0^{t_m} \alpha_2(t) F_2[x(t)] dt = C_1, \quad (6)$$

где: $C_1 = \text{const}$.

В общем случае, выражение (5) может быть записано в виде

$$F_{02.H} = \int_0^{t_m} \alpha_1(t) \cdot F_1[x(t)] dt + \gamma \int_0^{t_m} \alpha_2(t) F_2[x(t)] dt, \quad (7)$$

где γ – множитель Лагранжа.

При этом учитываем, что $\gamma = \text{const}$ и условие нормировки (3), (4) в этом случае принимает вид

$$\alpha_1(t) + \gamma \cdot \alpha_2(t) = 1. \quad (8)$$

Выражение (7) представляет собой математическую запись определения оптимальной функции $x(t)_{\text{opt}}$ по методу вариационной оптимизации [3], при которой $F_{02.H}$ достиг бы своего экстремума [5].

Таким образом, предлагаемый метод многокритериально – вариационной оптимизации позволяет вычислить оптимальную функцию, которая приводит

скалярную свертку конкурирующих функционалов к экстремальной величине.

Рассмотрим вопросы применения предлагаемого метода для оптимизации атмосферных озонметрических измерений [4]. Предполагается, что измерения осуществляются с помощью фильтровых солнечных фотометров [6, 7]. Далее рассматривается комплекс атмосферных озонметрических измерений, осуществляющий измерение общего количества озона в атмосфере в двух диапазонах: (1) в ультрафиолетовом диапазоне, на длинах волн 0,31 – 0,32 мкм [5], (2) в видимом диапазоне [6], на длинах волн 0,5 – 0,7 мкм.

Блок – схема озонметрического измерительного комплекса показана на рис. 1.

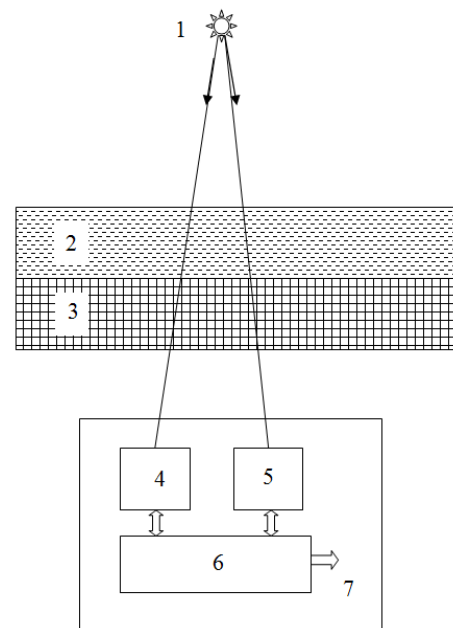


Рис. 1 – Блок – схема озонметрического комплекса, проводящего двухдиапазонные озонметрические измерения: 1 – Солнце; 2 – озоновый слой атмосферы; 3 – аэрозольный слой атмосферы; 4 – измеритель атмосферного озона в ультрафиолетовом диапазоне; 5 – измеритель атмосферного озона в видимом диапазоне; 6 – блок управления и обработки; 7 – измерительный комплекс.

Для дальнейшего анализа примем следующую упрощенную модель аэрозоля. Оптическая толщина атмосферного аэрозоля τ_{aer} определяется в качестве суммы мелкодисперсной $\tau_{\text{aer.f}}$ и крупнодисперсной составляющих $\tau_{\text{aer.c}}$, т. е.

$$\tau_{\text{aer}} = \tau_{\text{aer.f}} + \tau_{\text{aer.c}}, \quad (9)$$

При этом $\tau_{\text{aer.f}}$ и $\tau_{\text{aer.c}}$ определяются согласно модели Ангстрема, т. е. [7]

$$\tau_{\text{aer.f}} = \beta_f \cdot \lambda^{-\alpha_f}, \quad (10)$$

$$\tau_{\text{aer.c}} = \beta_c \cdot \lambda^{-\alpha_c}, \quad (11)$$

$$\beta_f + \beta_c = \beta_0; \quad \beta_0 = \text{const}; \quad (12)$$

где β_f и β_c – мелкодисперсная и крупнодисперсная аэрозольные мутности атмосферы; λ – длина волны; α_f и α_c – показатели Ангстрема, соответственно, мелкодисперсной и крупнодисперсной составляющих атмосферного аэрозоля.

Суммарный сигнал измерительных блоков комплекса определяется как:

$$F_{03} = \alpha_1(t) \cdot I_0(\lambda_{y\phi}) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_{y\phi}, t) + \beta_{y\phi}(t) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_{y\phi})}]} + \alpha_2(t) \cdot I_0(\lambda_g) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_g, t) + (\beta_0 - \beta_{y\phi}(t)) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_g)}]} \quad (13)$$

где первая и вторая составляющие выражения (13) представляют собой выражение закона Буггера – Бера, соответственно для УФ и ИК диапазонов;

$I_0(\lambda_{y\phi})$ и $I_0(\lambda_g)$ – соответственно интенсивность излучения Солнца на длинах волн $\lambda_{y\phi}$ и λ_g ;

$\tau_{oz}(\lambda_{y\phi}, t)$, $\tau_{oz}(\lambda_g, t)$ – оптические толщины озонового слоя атмосферы соответственно на длинах волн $\lambda_{y\phi}$ и λ_g .

По аналогии с выражением (7), интегрируя функционал (13) в интервале $0 - t_m$, введя множитель Лагранжа и ограничительное условие наподобие (6) получим

$$F_{03.H} = \int_0^{t_m} \alpha_1(t) \cdot I_0(\lambda_{y\phi}) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_{y\phi}, t) + \beta_{y\phi}(t) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_{y\phi})}]} dt + \gamma \cdot \int_0^{t_m} \alpha_2(t) \cdot I_0(\lambda_g) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_g, t) + (\beta_0 - \beta_{y\phi}(t)) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_g)}]} dt \quad (14)$$

при

$$\int_0^{t_m} \alpha_2(t) \cdot I_0(\lambda_g) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_g, t) + (\beta_0 - \beta_{y\phi}(t)) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_g)}]} dt = C_2, \quad (15)$$

где $C_2 = \text{const}$.

Для оптимизации проводимых измерений требуется вычислить такую функцию $\beta_{y\phi}(t)$ при которой функционал $F_{03.H}$ достиг бы экстремального значения [8–10]. Согласно методу Эйлера, оптимальная функция $\beta_{y\phi}(t)$ приводящая функционал (14) к его экстремальной величине должна удовлетворить условию

$$\alpha_1(t) \cdot I_0(\lambda_{y\phi}) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_{y\phi}, t) + \beta_{y\phi}(t) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_{y\phi})}]} \cdot [-\lambda^{-\alpha(\lambda_{y\phi})}] + \gamma \cdot \alpha_2(t) \cdot I_0(\lambda_g) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_g, t) + (\beta_0 - \beta_{y\phi}(t)) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_g)}]} \cdot [-\lambda^{-\alpha(\lambda_g)}] = 0 \quad (16)$$

С учетом постоянства множителя Лагранжа в контексте решаемой задачи опустим процесс аналитического вычисления множителя Лагранжа и обозначим его как γ_0 .

В этом случае из выражения (16) находим

$$\beta_{y\phi}(t)_{opt} = \frac{\alpha_1(t) \cdot I_0(\lambda_{y\phi}) \cdot [-\lambda^{-\alpha(\lambda_{y\phi})}]}{\lambda_{y\phi}^{-\alpha(\lambda_{y\phi})} - \lambda_g^{-\alpha(\lambda_g)}} \cdot \gamma_0 \cdot \alpha_2(t) \cdot I_0(\lambda_g) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_g)} + \frac{\tau_{oz}(\lambda_g, t) - \tau_{oz}(\lambda_{y\phi}, t)}{\lambda_{y\phi}^{-\alpha(\lambda_{y\phi})} - \lambda_g^{-\alpha(\lambda_g)}} \quad (17)$$

Таким образом, при удовлетворении условия (17)

$F_{03.H}$ достигает экстремума. При этом, можно показать, что этот экстремум является минимумом. Следует отметить, что функция $\beta_{y\phi}(t)$ не является управляемой, т. е. задается природными условиями. Следовательно, подбор наилучшего режима озонметрических измерений может быть осуществлен путем выбора такой функции $\alpha_1(t)$ и $\alpha_2(t)$, которые обеспечили бы выполнение неравенства

$$\beta_{y\phi}(t) \neq \beta_{y\phi}(t)_{opt},$$

во всем интервале $0 - t_{max}$.

Выводы. Суммируя вышеизложенное, основной вывод проведенного исследования можно сформулировать следующим образом. Рассмотрена задача оптимального интегрированного за определенный период измерения общего количества озона в атмосфере при использовании бортового комплекса, осуществляющего измерения как в УФ диапазоне, так и в видимом диапазоне.

Оптимальность понимается в смысле достижения экстремума взвешенной суммы интегрированных сигналов каналов. Находится оптимальная функция шумов, обеспечивающая оптимальные измерения; при этом оптимальная функция шумов зависит от весовой функции каналов комплекса. Указанная зависимость позволяет использовать весовую функцию каналов в качестве управляющей функции для введения комплекса в оптимальный режим путем максимального удаления реальной временной функции изменения шумов от оптимального вида кривой этой функции.

Список литературы:

1. Теория принятия решений. Принятие оптимальных многоцелевых решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://forest.petrus.ru/courses/decision/_chap7_a.htm
2. Многокритериальные задачи принятия решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/3271206/>
3. Эльсгольц, Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление [Текст] / Л. Э. Эльсгольц. – Москва: Книга по Требованию, 2012. – 424 с.
4. Morys, M. Design, calibration, and performance of MICROTOPS II handheld ozone monitor and Sun photometer [Text] / M. Morys, F. M. Mims, S. Hagerup, S. E. Anderson, A. Baker, J. Kia, T. Walkup // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2001. – № 106 (D13). – P. 14573–14582. doi: [10.1029/2001jd900103](https://doi.org/10.1029/2001jd900103)
5. Raj, P. E. Variability in Sun photometer-derived total ozone over a tropical urban station [Text] / P. E. Raj // Journal of Geophysical Research. – 2004. – № 109 (D8). doi: [10.1029/2003jd004195](https://doi.org/10.1029/2003jd004195)
6. Khoshshima, M. Variations of aerosol optical depth and Angstrom parameters at a suburban location in Iran during 2009–2010 [Text] / M. Khoshshima, A. A. Bidokhti, F. Ahmadi-Givi // Journal of Earth System Science. – 2014. – № 123 (1). – P. 187–199. doi: [10.1007/s12040-013-0380-1](https://doi.org/10.1007/s12040-013-0380-1)
7. Chance, K. V. Satellite measurements of atmospheric ozone profiles, including tropospheric ozone, from ultraviolet/visible measurements in the nadir geometry: a potential method to retrieve tropospheric ozone [Text] / K. V. Chance, J. P. Burrows, D. Perner, W. Schneider // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 1997. – № 57 (4). – P. 467–476. doi: [10.1016/S0022-4073\(96\)00157-4](https://doi.org/10.1016/S0022-4073(96)00157-4)
8. Sanginova, O. Comparative analysis of some computational schemes for obtaining a compromise solution [Text] / Sanginova O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – № 1/4 (73). – P. 10–18. doi: [10.15587/1729-](https://doi.org/10.15587/1729-)

- [4061.2015.35607](#)
9. Mamedov, M. Multi criteria optimization of human resource management problems based on the modified topsis method [Text] / M. Mamedov, Z. Dzhabrailov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – № 2/4 (74). – P. 48–62. doi: [10.15587/1729-4061.2015.40533](#)
 10. Saveleva, O. Information technologies of optimizing designs and manufacturing techniques of rubber-metal products [Text] / O. Saveleva, I. Stanovska, E. Lebedeva, A. Toropenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 2/2 (80). – P. 28–35. doi: [10.15587/1729-4061.2016.65456](#)
- Bibliography (transliterated):**
1. Decision theory. The adoption of optimal multi-purpose solutions. Available at: http://forest.petrus.ru/courses/decision/chap7_a.htm
 2. Multicriteria decision making problems. Available at: <http://www.studfiles.ru/preview/3271206/>
 3. Elsgolts, L. E. (2012). Differential equations and calculus of variations. Moscow: Book on Demand, 424.
 4. Morys, M., Mims, F. M., Hagerup, S., Anderson, S. E., Baker, A., Kia, J., Walkup, T. (2001). Design, calibration, and performance of Microtops II handheld ozone monitor and Sun photometer. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 106 (D13), 14573–14582. doi: [10.1029/2001jd900103](#)
 5. Raj, P. E. (2004). Variability in Sun photometer-derived total ozone over a tropical urban station. Journal of Geophysical Research, 109 (D8). doi: [10.1029/2003jd004195](#)
 6. Khoshima, M., Bidokhti, A. A., Ahmadi-Givi, F. (2014). Variations of aerosol optical depth and Angstrom parameters at a sub-urban location in Iran during 2009–2010. Journal of Earth System Science, 123 (1), 187–199. doi: [10.1007/s12040-013-0380-1](#)
 7. Chance, K. V., Burrows, J. P., Perner, D., Schneider, W. (1997). Satellite measurements of atmospheric ozone profiles, including tropospheric ozone, from ultraviolet/visible measurements in the nadir geometry: a potential method to retrieve tropospheric ozone. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 57 (4), 467–476. doi: [10.1016/s0022-4073\(96\)00157-4](#)
 8. Sanginova, O. (2015). Comparative analysis of some computational schemes for obtaining a compromise solution. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(4(73)), 10. doi: [10.15587/1729-4061.2015.35607](#)
 9. Mamedov, M., Dzhabrailov, Z. (2015). Multi criteria optimization of human resource management problems based on the modified topsis method. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(4(74)), 48. doi: [10.15587/1729-4061.2015.40533](#)
 10. Saveleva, O., Stanovska, I., Lebedeva, E., Toropenko, A. (2016). Information technologies of optimizing designs and manufacturing techniques of rubber-metal products. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(2(80)), 28. doi: [10.15587/1729-4061.2016.65456](#)

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Метод багатокритеріально-варіаційної оптимізації озонотричних вимірювань в прибережних зонах/ Х. Г. Асадов, Ш. Н. Зейналова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.57–60. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Метод многокритериально-вариационной оптимизации озонотрических измерений в прибрежных зонах/ Х. Г. Асадов, Ш. Н. Зейналова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.57–60. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

The method of multicriterial-variation optimization of ozonometric measurements in coastal zones/ H. H. Asadov, Sh. N. Zeynalova//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P. 57–60. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Асадов Хикмет Гамид – доктор технических наук, профессор, начальник отдела, Научно-Исследовательский Институт Аэрокосмической Информатики, ул. Сулейман Сани Ахундов,1, г. Баку, Азербайджан, AZ1115 ; e-mail: asadzade@rambler.ru

Зейналова Шана Низами – аспирант, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. Сулейман Сани Ахундов,1, г. Баку, Азербайджан, AZ1115

Асадов Хикмет Гамид – доктор технічних наук, професор, начальник відділу, Науково-Дослідний Інститут аерокосмічної Інформатики, вул. ул. Сулейман Сани Ахундов, 1, г. Баку, Азербайджан, AZ1115; e-mail: asadzade@rambler.ru.

Зейналова Шана Низами – аспірант, Національне аерокосмічне агентство, ул. Сулейман Сани Ахундов,1, г. Баку, Азербайджан, AZ1115

Asadov Hikmet – Doctor of Engineering, Professor, Research Institute of Aerospace Science; Suleyman Sani Akhundov str.1, Baku, Azerbaijan, AZ1115; e-mail: asadzade@rambler.ru.

Zeynalova Shana – graduate student, National Aerospace Agency; Suleyman Sani Akhundov str.1, Baku, Azerbaijan, AZ1115