

УДК 629.7.036.54

DOI 10.18698/0536-1044-2017-4-57-66

# Определение коэффициентов анизотропии при замене реальной конструкции на конструктивно-анизотропную сплошную модель\*

**О.В. Короткая**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

## The Determination of Anisotropy Coefficients when Replacing the Actual Structure by a Structurally Anisotropic Solid Model

**O.V. Korotkaya**BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

e-mail: korotkaya\_olga@mail.ru

**i** Предложен алгоритм расчета коэффициентов анизотропии конструктивно-анизотропной сплошной модели. При разработке методики расчета камеры сгорания перспективного жидкостного ракетного двигателя на основе метода подконструкций возникла необходимость моделирования конструкции по упрощенной расчетной схеме осесимметричной конструктивно-анизотропной оболочки. С целью решения этой задачи разработан макрос для конечно-элементного комплекса ANSYS. Приведены результаты расчета коэффициентов анизотропии с использованием разработанного макроса для камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя 11Д58МФ. Результаты, полученные при расчете представительного элемента конструктивно-анизотропной сплошной модели с найденными коэффициентами анизотропии, на тестовых задачах показали высокую сходимость с таковыми для представительного элемента реальной конструкции.

**Ключевые слова:** метод подконструкций, циклически повторяющийся сектор, камера сгорания ЖРД, каналы охлаждения, коэффициенты анизотропии, модули Юнга.

**i** The algorithm of the anisotropy coefficients determination for a structurally anisotropic solid model is proposed in this paper. The necessity of modeling a structure using a simplified axisymmetric structurally anisotropic shell arose when developing the methodology of the thermal-stress analysis of a combustion chamber for an innovative liquid-propellant rocket engine on the basis of the substructure method. The macro for the ANSYS finite element software was developed to solve this problem. The results of the calculation of the anisotropy coefficients for the combustion chamber of the 11D58MF liquid-propellant rocket engine using the developed macro are shown. In tests, the results of the calculation of a representative element of the structurally anisotropic solid model using the obtained anisotropy coefficients showed a high correlation with the results for a representative element of the actual structure.

**Keywords:** substructure method, cyclic symmetric sector, combustion chamber of a liquid-propellant rocket engine, cooling ducts, anisotropy coefficients, Young's moduli.

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00368 мол\_а.

Для надежного функционирования камер сгорания жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) требуется выполнить расчет на прочность [1–3]. Проблемы, возникшие при проведении термомеханического расчета [4–7], привели к необходимости разработки методики для расчета и проектирования сверхсложных конструкций

[8, 9]. Предложенная в ней идея моделирования конструкции по упрощенной расчетной схеме осесимметричной конструктивно-анизотропной оболочки [10–12] потребовала определения коэффициентов анизотропии.

Осевая симметрия камеры сгорания ЖРД нарушена наличием спиральных каналов

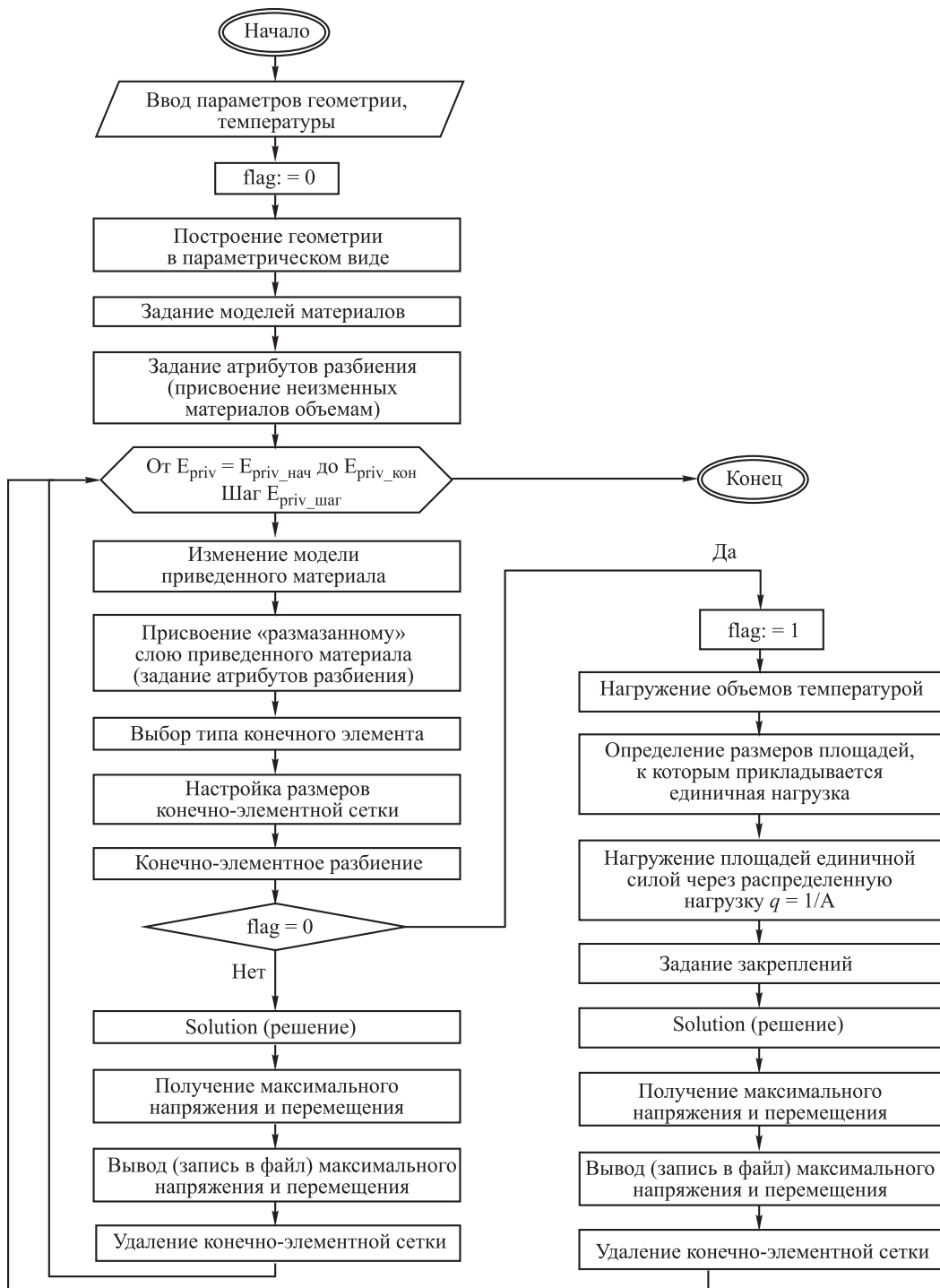


Рис. 1. Блок-схема программы для определения коэффициентов анизотропии

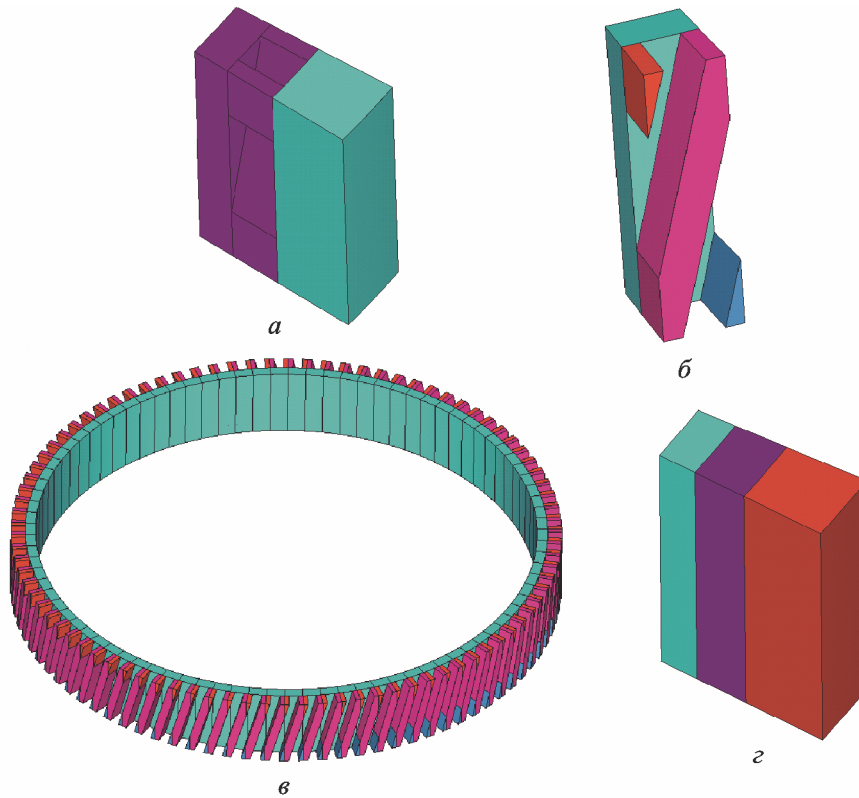


Рис. 2. Представительные элементы реальной конструкции (а–в) и конструктивно-анизотропной сплошной модели (з): а — с силовой оболочкой; б — без силовой оболочки; в — циклически повторяющиеся (без силовой оболочки)

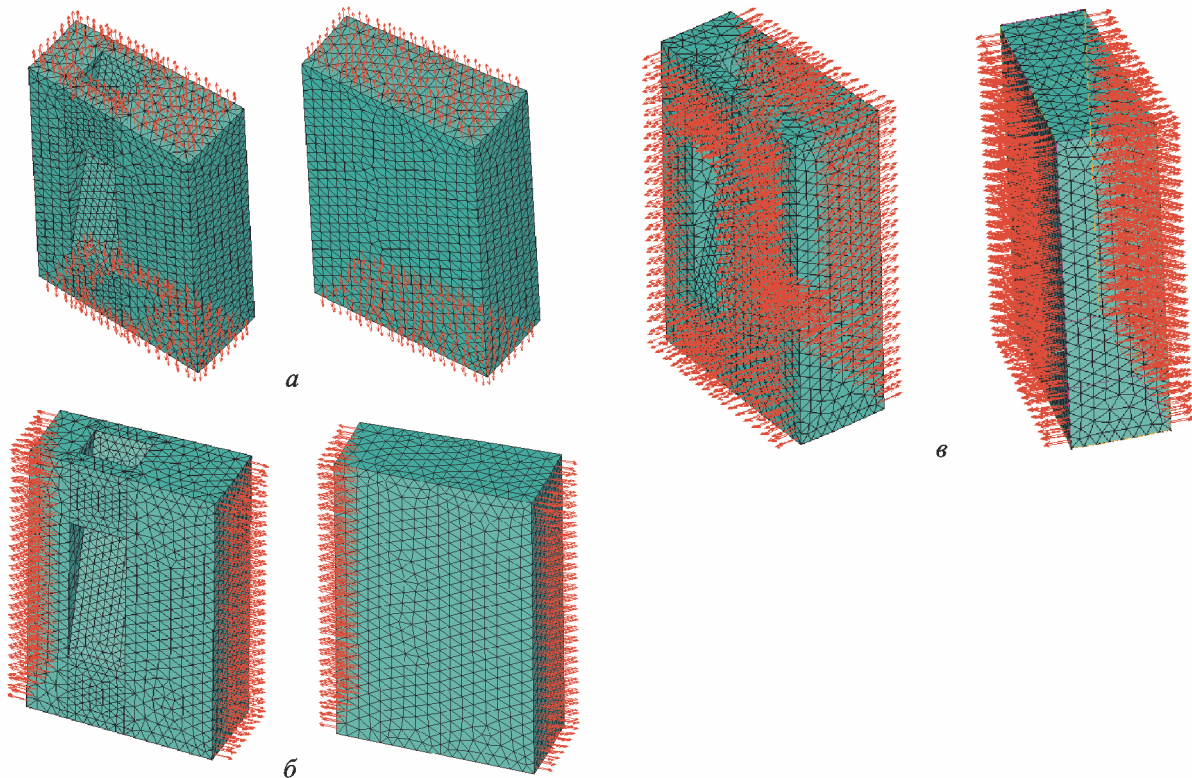


Рис. 3. Расчетные схемы определения модуля Юнга в меридиональном (а), радиальном (б) и окружном (в) направлениях для представительных элементов реальной конструкции (слева) и конструктивно-анизотропной сплошной модели (справа)

с переменным углом закручивания. Для решения этой проблемы предложено заменить реальную конструкцию конструктивно-анизотропной сплошной моделью [13]. Такой прием можно использовать для расчета различных сложных конструкций.

Определение коэффициентов анизотропии является трудоемкой задачей, что значительно увеличивает время, необходимое для исследования сверхсложных конструкций [14, 15].

Цель работы — разработка алгоритма и программы (макроса) для вычисления коэффициентов анизотропии конструктивно-анизотропной сплошной модели.

На рис. 1 представлена блок-схема программы, созданной для расчета коэффициентов анизотропии в среде программного конечно-элементного комплекса ANSYS [16, 17].

При вычислении коэффициентов анизотропии применен принцип эквивалентной жесткости.

Подготовительный этап включает в себя расчет представительного элемента реальной конструкции с применением единичных нагрузок по направлениям координатных осей. Результаты расчета выводятся в файл. Представительный элемент является циклически повторяющимся сектором, состоящим из ребра и канала охлаждения (рис. 2, а–в).

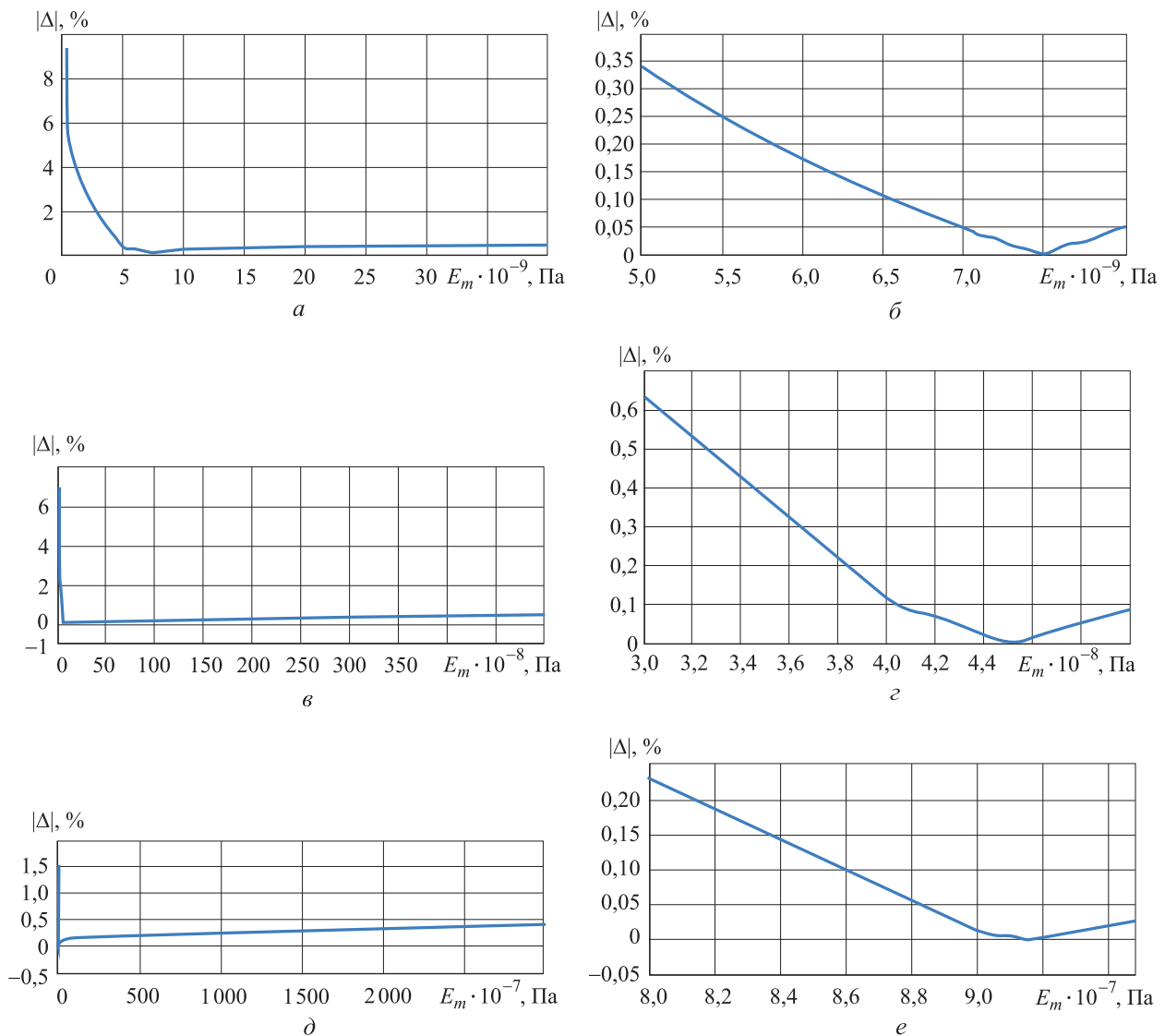


Рис. 4. Определение модуля Юнга в меридиональном направлении  $E_m$  с помощью параметра сравнения  $|\Delta|$  при угле  $\varphi = 75^\circ$  и температуре  $T = 20$  (а, б), 100 (в, г) и 500 °С (д, е) с помощью параметра сравнения  $|\Delta|$  при температуре  $T = 20$  °С и угле  $\varphi = 75^\circ$

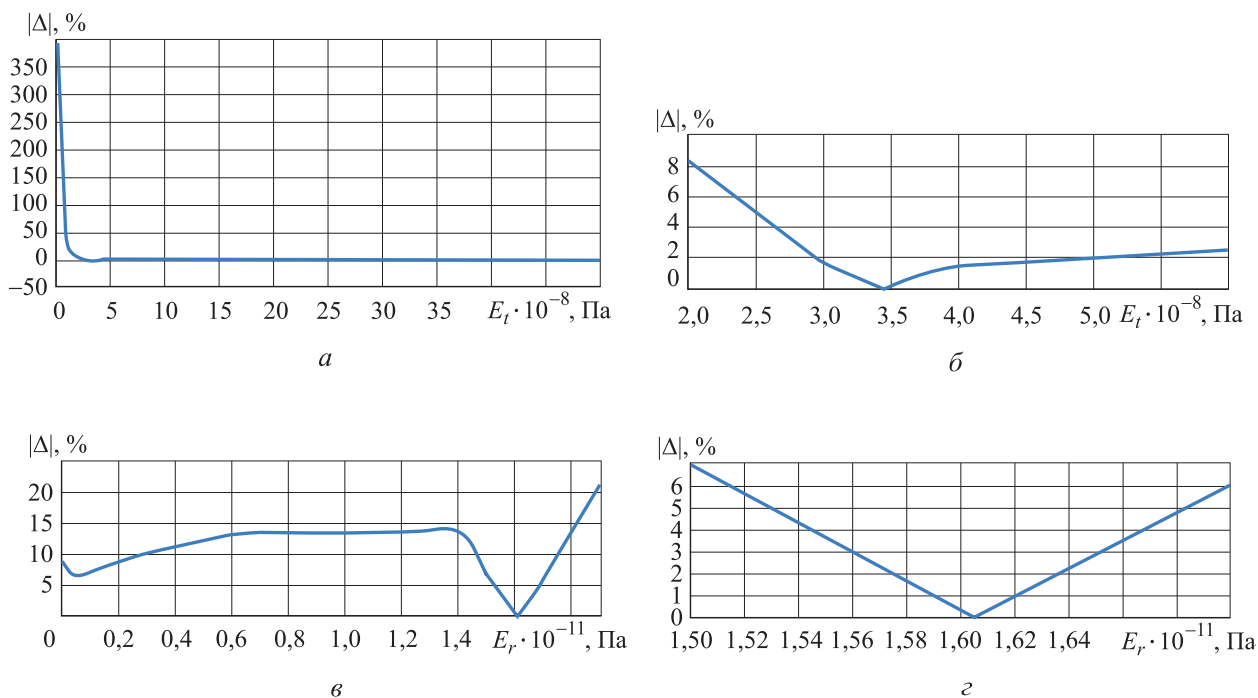


Рис. 5. Определение модуля Юнга в окружном  $E_t$  (а-б) и радиальном  $E_r$  (в-г) направлениях

Для того чтобы можно было провести расчет любого места конструкции с различным углом закручивания каналов охлаждения, предлагается задавать геометрию элемента параметрическим образом.

Затем создается аналогичный представительный элемент конструктивно-анизотропной сплошной модели, в которой вместо ребер и каналов охлаждения использован приведенный материал с неизвестными модулями Юнга (рис. 2, з). Далее проводится расчет этого элемента в цикле по модулям Юнга при действии единичных нагрузок по всем осям. Результаты записываются в файл.

Важный момент — выбор параметра для сравнения. В конструкциях с оригинальной геометрией имеет место всплеск напряжений в концентраторах (внутренних углах), что не позволяет провести расчет с требуемой точностью. В связи с этим выбирать напряжение в качестве критерия нецелесообразно.

В качестве параметра сравнения выбрано перемещение по соответствующим осям. По полученным результатам строится график невязки, в результате минимизации которой определяется соответствующее минимуму невязки значение модуля Юнга. Для выявления влияния этого параметра в конкретных направлениях на напря-

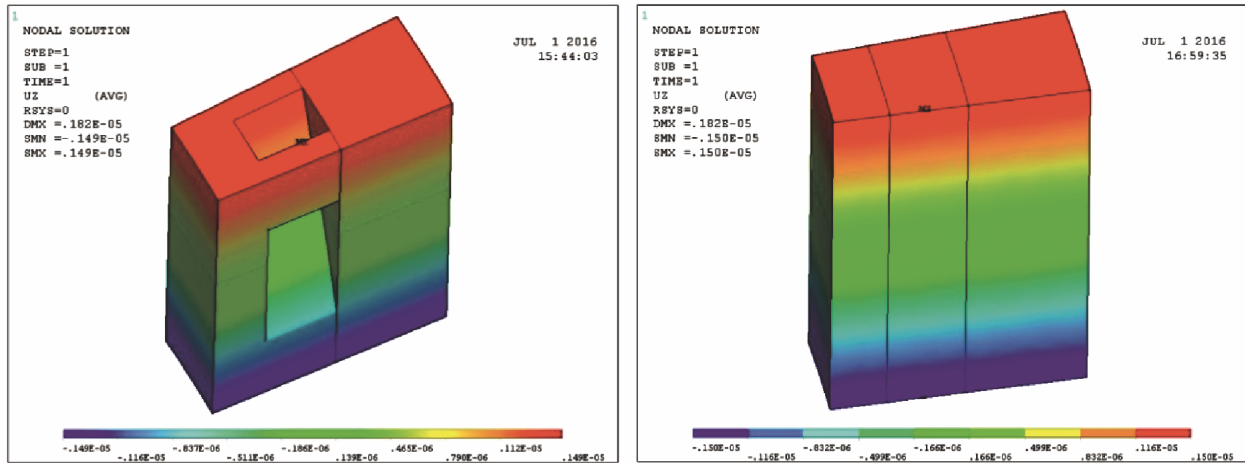
женно-деформированное состояние при нагрузках, приложенных в других направлениях, был проведен численный анализ, который показал, что в рамках поставленной задачи указанным влиянием можно пренебречь.

Расчетные схемы для определения модуля Юнга в меридиональном, радиальном и окружном направлениях представлены на рис. 3.

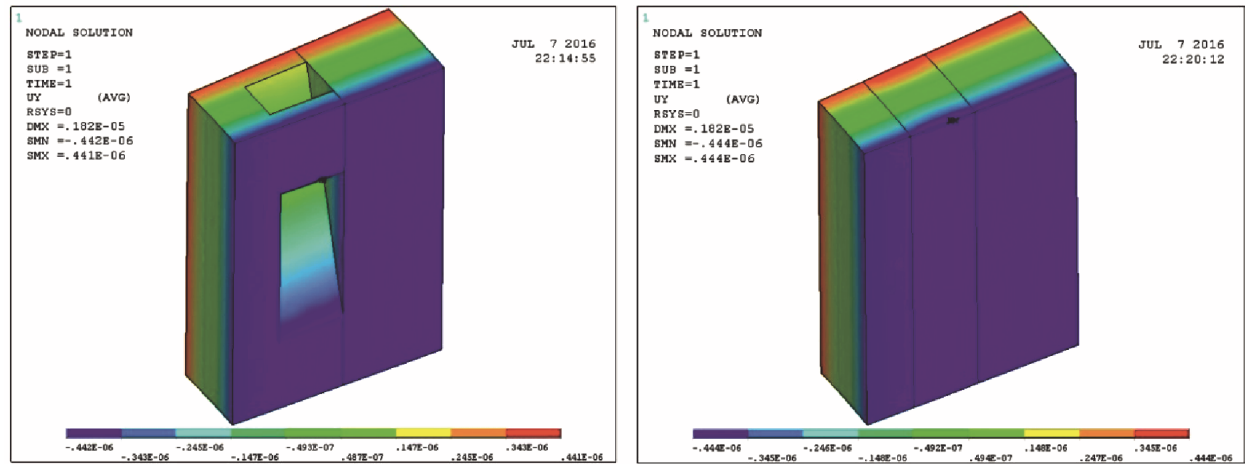
Результатом работы макроса являются значения модулей Юнга в меридиональном, радиальном и окружном направлениях, определенные с помощью параметра сравнения  $|\Delta|$  при различных температурах  $T$  и углах  $\varphi$  закручивания спиральных каналов охлаждения. На рис. 4–5 приведены данные, полученные для  $\varphi = 75^\circ$ , где а, в и д — общий вид функции; б, г и е — увеличенная зона минимума.

Коэффициенты Пуассона приведенного материала определяются через объемные доли ребер тракта охлаждения в слое. Вычисленные модули Юнга и коэффициенты Пуассона являются коэффициентами анизотропии.

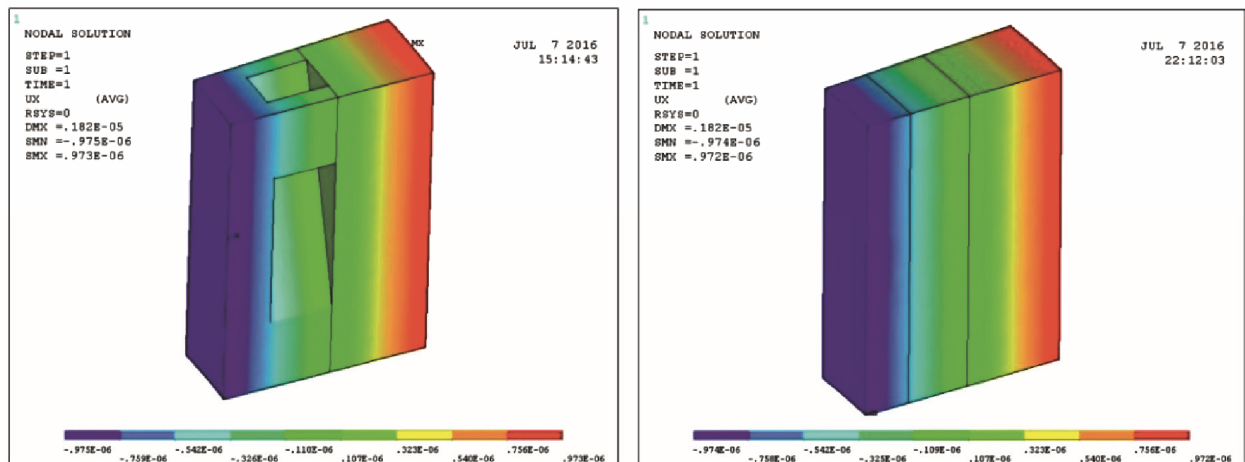
Результаты расчета представительного элемента конструктивно-анизотропной сплошной модели при найденных модулях Юнга показали высокую сходимость с таковыми для представительного элемента реальной конструкции (рис. 6).



a



б



в

Рис. 6. Результаты расчета, полученные при определении модуля Юнга в меридиональном (а), окружном (б) и радиальном (в) направлениях, для представительных элементов реальной конструкции (слева) и конструктивно-анизотропной сплошной модели (справа)

## Выводы

1. Изложен алгоритм определения коэффициентов анизотропии для конструктивно-анизотропной сплошной модели.

2. Разработан макрос для вычисления коэффициентов анизотропии в программном конечно-элементном комплексе ANSYS. Представлена блок-схема программы.

3. Показана высокая сходимость результатов расчета представительного элемента конструктивно-анизотропной сплошной модели при найденных значениях модуля Юнга и представительного элемента реальной конструкции.

4. Предложенный алгоритм может быть применен для определения коэффициентов анизотропии при расчете различных сложных конструкций.

## Литература

- [1] Короткая О.В., Гаврюшин С.С. Расчет камеры сгорания перспективного ЖРД на основе метода подконструкций. *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред. Матер. XX Междунар. симп. им. А.Г. Горшкова*. Т. 1. Москва, ООО «ТР-принт», 2014, с. 50–52.
- [2] Короткая О.В., Гаврюшин С.С. Расчет камеры сгорания ЖРД с кислородным охлаждением на основе метода подконструкций. *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред. Матер. XXI Междунар. симп. им. А.Г. Горшкова*. Т. 1. Москва, ООО «ТР-принт», 2015, с. 50–52.
- [3] Гаврюшин С.С., Короткая О.В., Ягодников Д.А., Полянский А.Р. Расчет и проектирование камеры сгорания перспективного ЖРД на основе метода подконструкций. *Ракетные двигатели и энергетические установки. Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию основания кафедры ракетных двигателей Казанского авиационного института*, Казань, Изд-во Казан. ун-та, 2015, с. 149–152.
- [4] Гаврюшин С.С., Короткая О.В. Термопрочностной расчет сопловой части ЖРД. *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред. Матер. XIX Междунар. симп. им. А.Г. Горшкова*. Т. 1. Москва, ООО «ТР-принт», 2013, с. 64–65.
- [5] Короткая О.В. Термопрочностной расчет сопловой части ЖРД с использованием метода подконструкций. *Сб. тр. Междунар. конкурса научных работ по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации*. Москва, НИИ электроники и лазерной техники, 2012, с. 263–269.
- [6] Гаврюшин С.С., Красновский Е.Е., Короткая О.В., Стриженко П.П., Катков Р.Э. Использование метода подконструкций для термопрочностного расчета камеры жидкостного ракетного двигателя. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 4. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/705.html> (дата обращения 20 октября 2016).
- [7] Короткая О.В., Гаврюшин С.С. Термопрочностной расчет сопловой части камеры сгорания перспективного жидкостного ракетного двигателя с кислородным охлаждением с использованием метода подмоделей для оптимизации финансирования при создании новых ЖРД. *Ракетно-космические двигательные установки. Сб. матер. Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения заслуженных деятелей науки и техники РФ, лауреатов Государственной премии СССР, профессоров В.М. Кудрявцева и В.М. Поляева и 185-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана*. Москва, ИИУ МГОУ, 2015, с. 65–67.
- [8] Короткая О.В., Гаврюшин С.С. Методика расчета и проектирования сверхсложных конструкций с помощью МКЭ и метода подмоделей на примере камеры сгорания ЖРД. *Проблемы прочности, пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела. Матер. VIII Междунар. науч. симп.*, Тверь, Тверской государственный технический университет, 2015, с. 152–155.
- [9] Короткая О.В., Гаврюшин С.С. Методика математического моделирования для термопрочностного расчета камеры сгорания инновационного ЖРД. *Тр. XXVII Междунар. инновационно-ориентированной конф. молодых ученых и студентов (МИКМУС-2015)*, Москва, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2015, с. 70–72.

- [10] Гаврюшин С.С., Короткая О.В. Расчет и проектирование циклически симметричных сложных технических конструкций на примере жидкостного ракетного двигателя. *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред. Матер. XXII Междунар. симп. им. А.Г. Горшкова*. Т. 1. Москва, ООО «ТТП», 2016, с. 76–78.
- [11] Гаврюшин С.С., Ягодников Д.А., Короткая О.В. Структурный подход при компьютерном моделировании камер сгорания ЖРД. *Механика и математическое моделирование в технике. Сб. тез. Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Героя Соц. Труда, лауреата Ленинской и Государственной премий СССР, члена-корреспондента АН СССР, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора техн. наук В.И. Феодосьева*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, с. 234–236.
- [12] Korotkaya O.V. Substructure Method for Thermal-Stress Analysis of Liquid-Propellant Rocket Engine Combustion Chamber. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index 88, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*, 2014, no. 8(4), pp. 738–741.
- [13] Андреев А.Н., Немировский Ю.В. *Многослойные анизотропные оболочки и пластины: изгиб, устойчивость, колебания*. Новосибирск, Наука, 2001. 288 с.
- [14] Sutton G.P., Biblarz O. *Rocket Propulsion Elements*. New York, John Wiley&Sons, 2001. 751 p.
- [15] Гаврюшин С.С., Барышникова О.О., Борискин О.Ф. *Численные методы в динамике и прочности машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 492 с.
- [16] Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. *ANSYS в руках инженера: Практическое руководство*. Москва, Едиториал УРСС, 2003. 272 с.
- [17] Морозов Е.М., Музеймек А.Ю., Шадский А.С. *ANSYS в руках инженера: Механика разрушения*. Москва, ЛЕНАНД, 2010. 456 с.

## References

- [1] Korotkaya O.V., Gavriushin S.S. Raschet kamery sgoraniia perspektivnogo ZhRD na osnove metoda podkonstruktssii [Calculation of the combustion chamber rocket engine promising based on the method of substructures]. *Dinamicheskie i tekhnologicheskie problemy mekhaniki konstruktssii i sploshnykh sred. Mater. 20 Mezhdunar. simp. im. A.G. Gorshkova* [Materials 20 of the International Symposium named after A.G. Gorshkov «Dynamic and technological problems of mechanics of constructions and continuous media»]. Vol. 1. Moscow, TR-print publ., 2014, pp. 50–52.
- [2] Korotkaya O.V., Gavriushin S.S. Raschet kamery sgoraniia ZhRD s kislorodnym okhlazhdeniem na osnove metoda podkonstruktssii [Calculation of the combustion chamber rocket engine with an oxygen cooling on the basis of the method of substructures]. *Dinamicheskie i tekhnologicheskie problemy mekhaniki konstruktssii i sploshnykh sred. Mater. 21 Mezhdunar. simp. im. A.G. Gorshkova* [The materials of the 21st International Symposium «Dynamic and technological problems of mechanics of constructions and continuous media» named after A.G. Gorshkov]. Vol. 1. Moscow, TR-print publ., 2015, pp. 50–52.
- [3] Gavriushin S.S., Korotkaya O.V., Iagodnikov D.A., Polianskii A.R. Raschet i proektirovanie kamery sgoraniia perspektivnogo ZhRD na osnove metoda podkonstruktssii [Calculation and design of the combustion chamber rocket engine promising based on the method of substructures]. *Raketnye dvigateli i energeticheskie ustanovki. Mater. dokl. Vseros. nauch.-tekh. konf., posviashch. 70-letiiu osnovaniia kafedry raketnykh dvigatelei Kazanskogo aviatcionnogo instituta* [Rocket engines and power plants: proceedings of all-Russian scientific-technical conference dedicated to the 70<sup>th</sup> anniversary of the founding of the Department of rocket engines of the Kazan aviation Institute]. Kazan, KFU Publishing House, 2015, pp. 149–152.
- [4] Gavriushin S.S., Korotkaya O.V. Termoprochnostnoi raschet soplo-voi chasti ZhRD [Thermal strength calculation of the nozzle part of the rocket engine]. *Dinamicheskie i tekhnologicheskie problemy mekhaniki konstruktssii i sploshnykh sred. Mater. 19 Mezhdunar. simp. im. A.G. Gorshkova* [Dynamic and technological problems of mechanics of constructions and continuous media. Materials of 19 International Symposium named after A.G. Gorshkov]. Vol. 1. Moscow, TR-print publ., 2013, pp. 64–65.



- [5] Korotkaia O.V. Termoprochnostnoi raschet soplovoi chasti ZhRD s ispol'zovaniem metoda podkonstruktsii [Thermal strength calculation of nozzle of rocket engine part using the method of substructures]. *Sb. tr. Mezhdunar. konkursa nauchnykh rabot po prioritetnym napravleniiam razvitiia nauki, tekhnologii i tekhniki v Rossiiskoi Federatsii* [Proceedings of the International competition of scientific works in the priority directions of development of science, technologies and technics in the Russian Federation]. Moscow, NII elektroniki i lazernoi tekhniki publ., 2012, pp. 263–269.
- [6] Gavriushin S.S., Krasnovskii E.E., Korotkaia O.V., Strizhenko P.P., Katkov R.E. Ispol'zovanie metoda podkonstruktsii dlia termoprochnostnogo rascheta kamery zhidkostnogo raketnogo dvigatel'ia [Application of the substructure method for thermal stress-strain assessment of a liquid-propellant rocket engine combustion chamber]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation]. 2013, is. 4. Available at: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/705.html> (accessed 20 October 2016).
- [7] Korotkaia O.V., Gavriushin S.S. Termoprochnostnoi raschet soplovoi chasti kamery sgoraniia perspektivnogo zhidkostnogo raketnogo dvigatel'ia s kislorodnym okhlazhdeniem s ispol'zovaniem metoda podmodelei dlia optimizatsii finansirovaniia pri sozdanii novykh ZhRD [Thermal strength calculation of the nozzle of the combustion chamber promising liquid rocket engine with oxygen-cooling method is using submodels to optimize funding when creating a new rocket engine]. *Raketno-kosmicheskie dvigatel'nye ustanovki. Sb. Mater. Vseros. nauch.-tekhn. konf., posviashch. 90-letiiu so dnia rozhdeniia zasluzhennykh deiatelei nauki i tekhniki RF, laureatov Gosudarstvennoi premii SSSR, professorov Kudriavtseva V.M. i Poliaeva V.M. i 185-letiiu MGTU im. N.E. Baumana* [The collection of materials of all-Russian scientific-technical conference «Rocket and space propulsion», dedicated to the 90th anniversary since the birth of Honored workers of science and technology of the Russian Federation, laureates of State prize of the USSR, Professor V.M. Kudryavtsev and V. M. Polyaev and the 185th anniversary of the Bauman MSTU]. Moscow, IJU MGOU publ., 2015, pp. 65–67.
- [8] Korotkaia O.V., Gavriushin S.S. Metodika rascheta i proektirovaniia sverkhslzhnykh konstruktsii s pomoshch'iu MKE i metoda podmodelei na primere kamery sgoraniia ZhRD [Methodology of calculation and design of highly complex structures using FEM and method sub models, for example the combustion chamber of LPRE]. *Problemy prochnosti, plastichnosti i ustoiichivosti v mekhanike deformiruemogo tverdogo tela. Mater. 8 Mezhdunar. nauch. simp.* [Materials of the 8 International scientific Symposium «Problems of durability, plasticity and stability in the mechanics of deformable solids»]. Tver, Tverskoi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet publ., 2015, pp. 152–155.
- [9] Korotkaia O.V., Gavriushin S.S., Metodika matematicheskogo modelirovaniia dlia termoprochnostnogo rascheta kamery sgoraniia innovatsionnogo ZhRD [Methods of mathematical modeling for thermal strength calculation of the combustion chamber rocket engine of innovation]. *Trudy 27 Mezhdunarodnoi Innovatsionno-orientirovannoi Konferentsii Molodykh Uchenykh i Studentov (MIKMUS-2015)* [Proceedings of the 27 International Innovation-oriented conference of Young Scientists and Students (MIKAS-2015)]. Moscow, Institut mashinovedeniia im. A.A. Blagonravova Rossiiskoi akademii nauk publ., 2015, pp. 70–72.
- [10] Gavriushin S.S., Korotkaia O.V. Raschet i proektirovanie tsiklicheski simmetrichnykh slozhnykh tekhnicheskikh konstruktsii na primere zhidkostnogo raketnogo dvigatel'ia [Calculation and design of circularly symmetric complex technical constructions on the example of liquid rocket engine]. *Materialy 22 Mezhdunarodnogo simpoziuma «Dinamicheskie i tekhnologicheskie problemy mekhaniki konstruktsii i sploshnykh sred» im. A.G. Gorshkova* [The materials of the 22 International Symposium «Dynamic and technological problems of mechanics of constructions and continuous media» named after A.G. Gorshkov]. Vol. 1. Moscow, TRP publ., 2016, pp. 76–78.
- [11] Gavriushin S.S., Iagodnikov D.A., Korotkaia O.V. Strukturnyi podkhod pri komp'iuternom modelirovanii kamer sgoraniia ZhRD [A structural approach to computer modeling of combustion chambers of liquid rocket engines]. *Sb. tezisov Vseros. nauch.-tekhn. konf. «Mekhanika i matematicheskoe modelirovanie v tekhnike», posviashch. 100-letiiu so dnia rozhdeniia Geroia Sots. Truda, laureata Leninskoi i Gosudarstvennoi premii SSSR, chlena-*

- korr. AN SSSR, zaslužennogo deiatelia nauki i tekhniki RSFSR, doktora tekhn. nauk V.I. Feodos'eva* [Abstracts of all-Russian scientific-technical conference «Mechanics and mathematical modeling in engineering», dedicated to 100-anniversary birthday Hero of Socialist Labor, laureate of Lenin and State prizes of the USSR, corresponding member of the USSR Academy of Sciences, honored scientist of the RSFSR, doctor of technical sciences V.I. Feodosyev]. Moscow, Bauman Press, 2016, pp. 234–236.
- [12] Korotkaya O.V. Substructure Method for Thermal-Stress Analysis of Liquid-Propellant Rocket Engine Combustion Chamber. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index 88, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*, 2014, no. 8(4), pp. 738–741.
- [13] Andreev A.N., Nemirovskii Iu.V. *Mnogosloynye anizotropnye obolochki i plastiny: izgib, ustoichivost', kolebaniia* [Multilayered anisotropic shells and plates: bending, stability, fluctuations]. Novosibirsk, Nauka publ., 2001. 288 p.
- [14] Sutton G.P., Biblarz O. *Rocket Propulsion Elements*. New York, John Wiley&Sons, 2001. 751 p.
- [15] Gavriushin S.S., Baryshnikova O.O., Boriskin O.F. *Chislennyye metody v dinamike i prochnosti mashin* [Numerical methods in dynamics and strength of machines]. Moscow, Bauman Press, 2012. 492 p.
- [16] Kaplun A.B., Morozov E.M., Olfer'eva M.A. *ANSYS v rukakh inzhenera: Prakticheskoe rukovodstvo* [ANSYS in the hands of an engineer: a Practical guide]. Moscow, Editorial URSS publ., 2003. 272 p.
- [17] Morozov E.M., Muzeimek A.Iu., Shadskii A.S. *ANSYS v rukakh inzhenera: Mekhanika razrusheniia* [ANSYS in the hands of the engineer: fracture Mechanics]. Moscow, LENAND publ., 2010. 456 p.

Статья поступила в редакцию 09.01.2017

## Информация об авторе

**КОРОТКАЯ Ольга Владимировна** (Москва) — аспирант кафедры «Прикладная механика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: korotkaya\_olga@mail.ru).

## Information about the author

**KOROTKAYA Olga Vladimirovna** (Moscow) — Postgraduate, Department of Applied Mechanics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: korotkaya\_olga@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышла в свет монография  
**А.И. Смородина, Е.И. Сторчая**

### «Бесфлюсовая пайка алюминия в криогенной технике»

Обобщены результаты исследований по технологии высоко-температурной бесфлюсовой пайки алюминия и ее внедрению при создании ответственных изделий криогенной техники.

Книга будет полезна инженерно-техническим работникам научно-исследовательских и проектных институтов, конструкторам и технологам, а также студентам вузов и техникумов.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru