

УДК 621.822.187

**Е.Ф. ПАРОВАЙ***Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет), Россия*

## СВОБОДНАЯ ТУРБИНА ГТД НА ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

*В статье описана компоновка свободной турбины газотурбинного двигателя для наземного применения на подшипниках скольжения. Дан обзор конструкции опорного гидродинамического подшипника, подробно рассмотрена конструкция системы подвода смазки в нагруженный вкладыш гидродинамического подшипника, конструкция вкладыша, опорного подшипника в целом. Замена подшипников качения на высокоэффективные сегментные подшипники скольжения с самоустанавливающимися вкладышами позволит эксплуатировать двигатель на более высоких частотах вращения, повысить динамическую устойчивость ротора, упростить масляную и другие системы двигателя.*

**Ключевые слова:** *вкладыш, гидродинамический подшипник, зазор, компоновка, свободная турбина, система подвода смазки.*

### Введение

Целью работы, описанной в данной статье, являлось создание и проработка конструкции подшипников опор свободной турбины газотурбинного двигателя для наземного применения. Ставилась задача замены подшипников качения на подшипники скольжения нового типа, способные воспринимать высокие скорости вращения, сохраняя при этом динамическую устойчивость ротора. Выбор был сделан в пользу подшипников скольжения "сухого картера", являющимися по сути высокоэффективными сегментными гидродинамическими подшипниками с самоустанавливающимися вкладышами. В основе работы данных подшипников лежит принцип "сухого картера" - отсутствия масляной ванны, расточки вкладышей в радиус вала и силового замыкания рабочего зазора [1].

Целью работы была модификация конструкции свободной турбины двигателя НК-36СТ. Одним из наиболее частых неисправностей данных двигателей являются отказы, связанные с разрушением роликовых подшипников опор. Нарботка на отказ только по дефекту разрушения составляет порядка 6500 часов при норме ОАО "Газпром" на наработку на отказ по любой причине не менее 5000 часов.

### Результаты исследований

Переход на подшипники скольжения позволяет без серьезного изменения конструкции свободной турбины (ротора, конструкции вала и пр.) увеличить динамическую устойчивость ротора и ресурс турби-

ны в целом. Подшипники скольжения в состоянии работать на более высоких окружных скоростях ротора. Кроме того, применение подшипников скольжения "сухого картера" позволяет выполнение осевого разъема опор роторов, ликвидирует необходимость осевой разгрузки ротора ГТД, что связано с достаточной несущей способностью упорных подшипников. При использовании подшипников скольжения "сухого картера" не возникает необходимости в системах осевой разгрузки, охлаждения, герметизации, наддува и суфлирования внутренних полостей ГТД, что ведёт к радикальному упрощению конструкции и теплового состояния двигателя и его деталей, что облегчает решение вопросов, связанных с обеспечением их надёжности по термодинамической малоцикловой усталости [2].

Двухступенчатая турбина двигателя НК-36СТ крепится к раме двумя горизонтально расположенными цапфами на корпусе опоры и двумя подвижными цапфами в силовой проставке. Вал ротора свободной турбины опирается на задний и передний роликовые подшипники. Осевые силы, действующие на ротор турбины, воспринимаются шариковым подшипником, установленным в корпусе заднего подшипника. Все подшипники свободной турбины смазываются и охлаждаются маслом. Масло от нагнетающего насоса подается к форсункам по маслоподводящей трубе, проходящей через одну из стоек опоры турбины, распределительный тройник и трубы внутри корпуса масляной полости. Из корпуса переднего подшипника через отверстия в форсунке масло подается на беговую дорожку внутреннего кольца роликового подшипника.

Из корпуса заднего подшипника масло по каналам распределяется по трем форсункам и подается с двух сторон к заднему роликовому и шариковому подшипникам. Шестерни и подшипники привода дополнительно смазываются маслом, стекающим из коробки приводов СТ по трубе в одной из стоек опоры. Слив масла из масляной полости свободной турбины осуществляется в нижней точке сливной трубой, проходящей через стойку опоры турбины.

В свободной турбине была произведена замена подшипников качения, входящих в конструкцию

свободной турбины, на подшипники скольжения - включен опорный подшипник скольжения и опорно-упорный узел скольжения задней опоры свободной турбины. Компоновка свободной турбины на подшипниках скольжения показана на рис. 1.

На рис. 2 показаны распределения давления по длине рабочего зазора подшипников скольжения различных конструкций. Из рисунка видно, что в подшипниках скольжения с расточкой вкладышей в радиус вала реализуется "наполненная" (менее "пиковая") эпюра давлений.

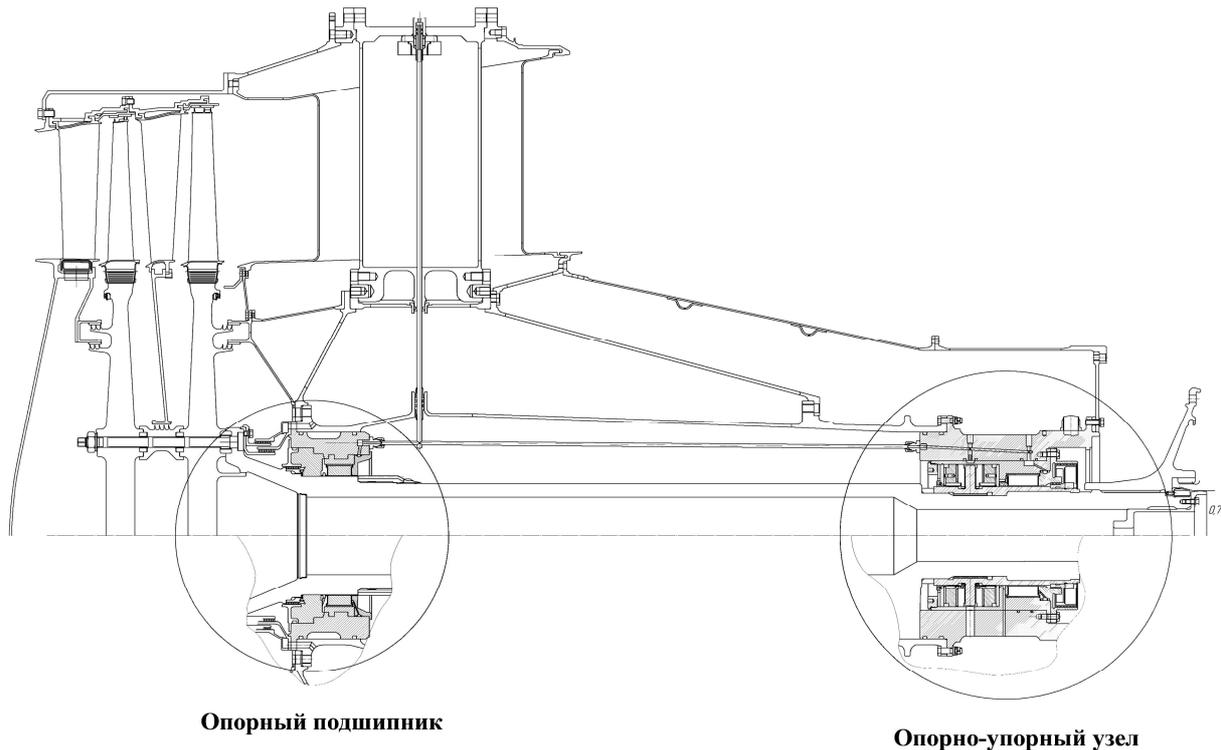


Рис. 1. Свободная турбина на подшипниках скольжения

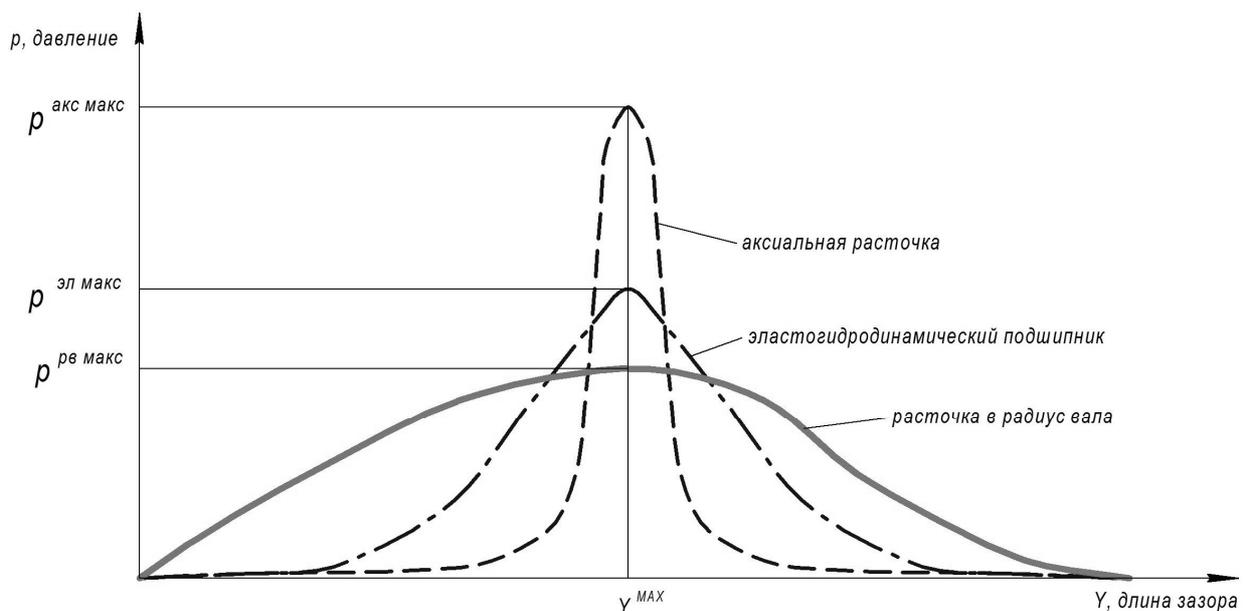


Рис. 2. Распределения давления по длине зазора в подшипниках скольжения

Кроме непосредственно замены подшипников, была проработана система подвода и отвода смазки. Подвод смазки к подшипникам свободной турбины осуществляется через маслораздаточные канавки. К опорным подшипникам скольжения масло подводится через нижний (рабочий вкладыш). Отвод смазки осуществляется через маслосборочную канавку и далее через отверстие слива, находящееся в переднем фланце подшипников.

На рис. 3 показан опорный подшипник скольжения, включающий в себя 4 вкладыша, нижний из которых является рабочим. Через него осуществляется подвод смазки в рабочий зазор подшипника.

Отработанное масло центробежной силой отбрасывается к маслосборочной канавке (2) и через отверстие слива (8) выводится из подшипника.

На рис. 4 показана конструкция опорного подшипника и, в частности, его система смазки.

Через отверстие и канавку в заднем фланце (12) масло подводится к каналу рабочего вкладыша (10), откуда поступает в маслораздаточную канавку (9) вкладыша и далее в рабочий зазор подшипника. Герметичность канавок и исключение потерь масла обеспечиваются резиновыми уплотнительными кольцами 11. Система маслоснабжения обеспечива-

ет очистку, охлаждение и подачу необходимого расхода масла на подшипники, а так же распределение масла между подшипниками и между вкладышами подшипника в соответствии с их потребностями. Масло, вытекающее из выходной кромки предыдущего вкладыша подшипника, попадает не на слив, а с минимальными потерями направляется в последующий вкладыш. В подшипнике скольжения "сухого картера" устранены потери на барботаж масла в масляной ванне.

Требования к маслораспределительной системе для самоустанавливающегося вкладыша с индивидуальным питанием (маслораздаточная канавка) устанавливают минимальный (достаточное маслоснабжение) и максимальный (отсутствие свободного перетекания масла из канавки в картер) расходы масла.

Конструкционно с целью регулирования маслоснабжения может использоваться установка расходных дросселей (жиклёров) на каждый вкладыш, подшипник или группу подшипников; а так же регулируемый дроссель для обеспечения постоянного давления. Представленная компоновка свободной турбины двигателя НК-36СТ обладает рядом несомненных преимуществ, главными из которых являются упрощение конструкции путём отказа от

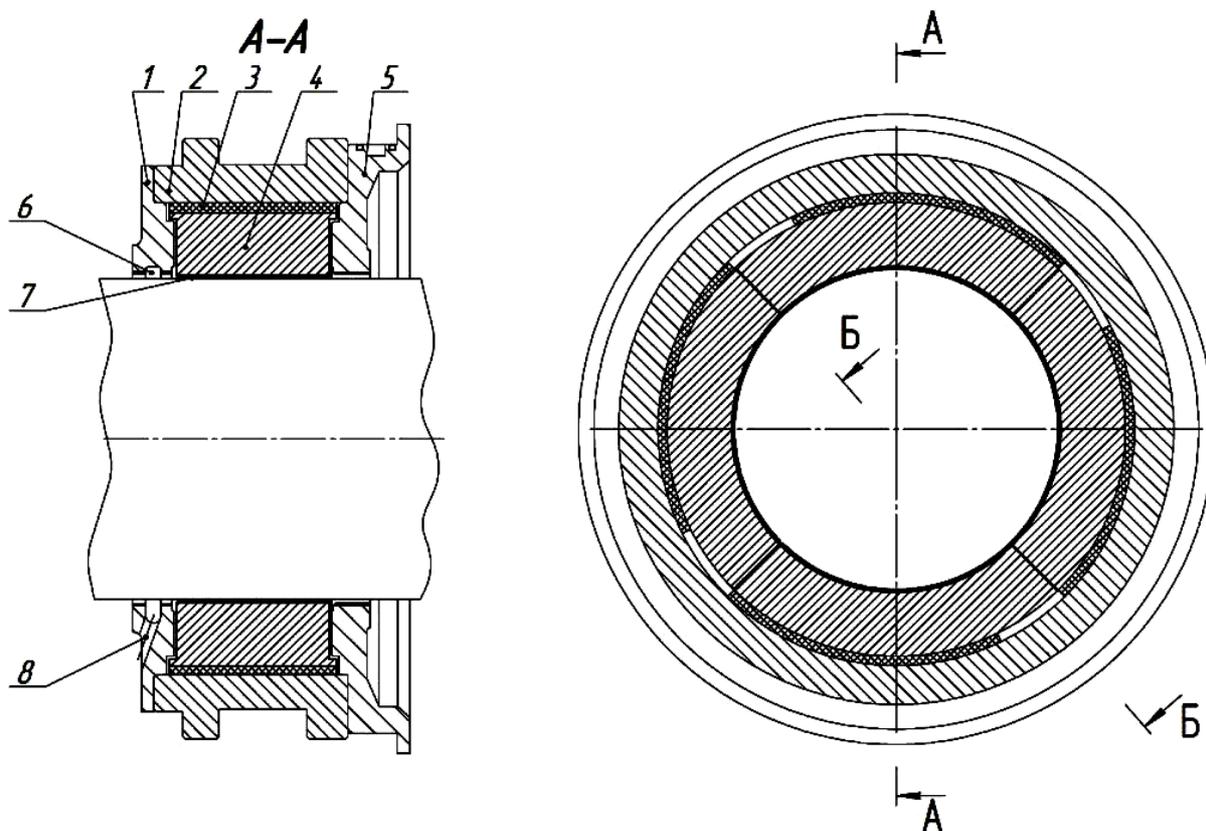


Рис. 3. Опорный подшипник свободной турбины:

1 - передний фланец; 2 - крышка корпуса; 3 - упругий подвес из материала МР; 4 - вкладыш подшипника; 5 - задний фланец; 6 - маслособирающая канавка; 7 - антифрикционное покрытие; 8 - отверстие слива

систем наддува, осевой разгрузки, охлаждения, герметизации и др., фиксированное значение расхода смазки и многократность использования масла повышают экономичность двигателя. Достоинством так же является и возможность изменения характеристик подшипника за счёт смены жиклёров повышает универсальность подшипников.

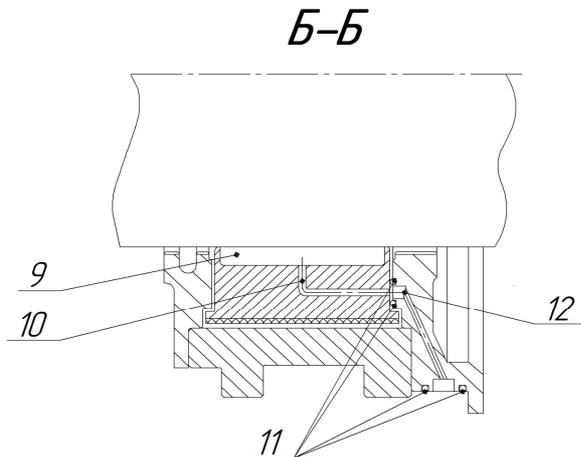


Рис. 4. Схема подвода смазки в рабочую зону опорного подшипника:

- 9 - маслораздаточная канавка рабочего вкладыша;
- 10 - маслоподводящее отверстие рабочего вкладыша;
- 11 - уплотнительные кольца;
- 12 - канавка заднего фланца

Несмотря на то, что подшипники скольжения сильно зависимы от снабжения маслом, выход из строя подшипника скольжения "сухого картера" не приводит к его разрушению, как происходит с подшипниками качения, так как разрушение подшипника не ведёт к достаточно заметной расцентровке ротора.

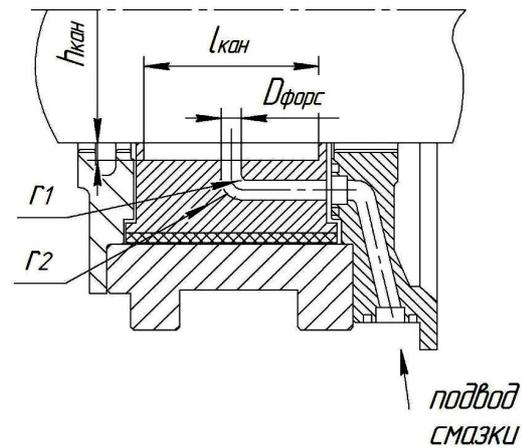
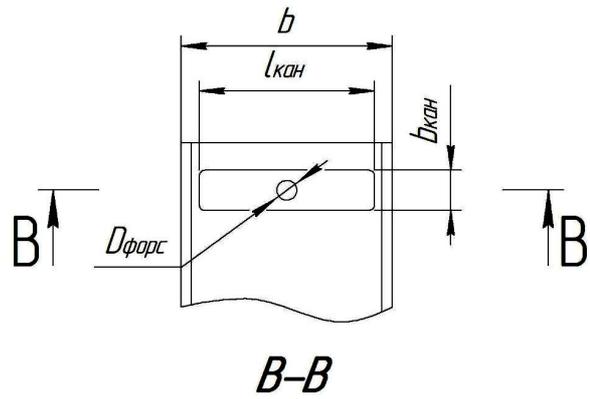


Рис. 5. Геометрия подвода смазки в рабочую зону опорного подшипника

На рис. 6 представлен характер распределения давления в зазоре подшипников с аксиальной расточкой вкладышей и расточкой в радиус вала, полученных в программе Ansys CFX.

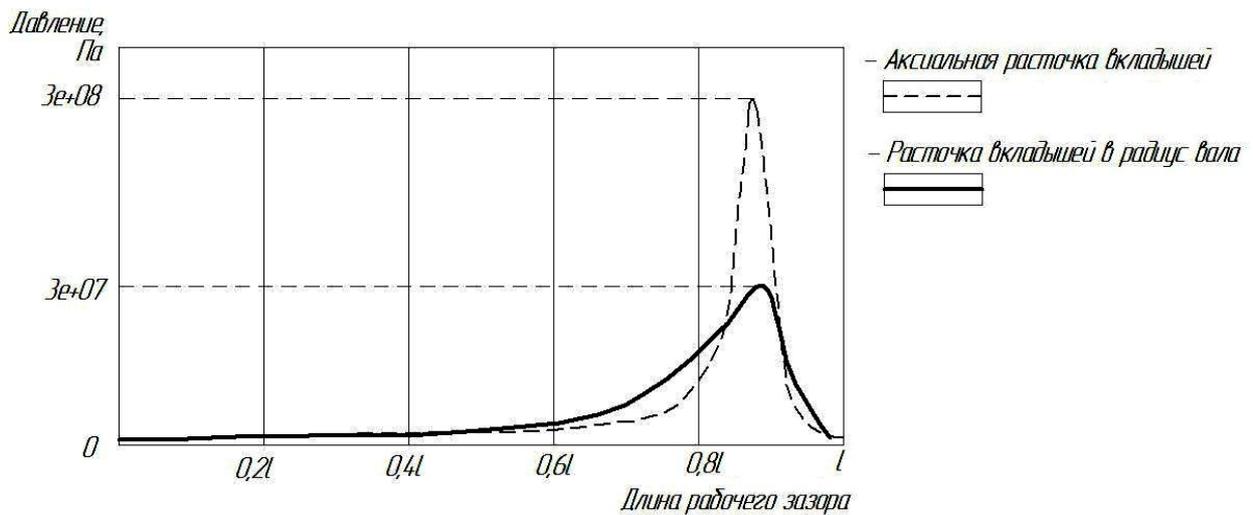


Рис. 6. Расчетные распределения давления по длине рабочего зазора подшипников с аксиальной расточкой вкладышей и расточкой в радиус вала

Как достойная альтернатива представленным подшипникам могут рассматриваться электромагнитные подшипники, которые в настоящее время активно внедряются в промышленные ГТД взамен подшипников качения или подшипников скольжения традиционной конструкции.

Следует отметить, что подшипники скольжения очень чувствительны к перекосам ротора, поэтому необходимо обеспечивать высокую точность по соосности опор. Одним из способов такого обеспечения является использование литой конструкции корпуса вместо сварной. Литой корпус обладает повышенной жесткостью сравнительно со сварным, используемым в штатной конструкции свободной турбины. Поэтому в работе подшипники будут подвергаться меньшим динамическим нагрузкам, что повышает ресурс опорных узлов.

### Вывод

В статье описан вариант замены проблемных подшипников качения двигателя НК-36СТ на подшипники скольжения "сухого картера", однако более эффективным является их применение

в составе литой опоры данных подшипников является создание на их базе новых высокоэффективных газотурбинных двигателей авиационного и наземного применения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании Постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.*

### Литература

1. Гордеев, В.Б. *Сегментные гидродинамические подшипники скольжения - сухого картера с расточкой вкладышей в радиус вала и упругим замыканием рабочего зазора [Текст]: техн. отчет / исполнитель В.Б. Гордеев. – №ТО-44-К-2007. - Самара: ОАО СКБМ, 2007. – 21 с.*
2. *Проектирование сегментных гидродинамических подшипников скольжения - сухого картера с расточкой вкладышей в радиус вала и силовым замыканием рабочего зазора [Текст]: техн. отчет НИИР: исполнитель ОАО СКБМ [и др.]. – Самара: ОАО СКБМ, 2008. – 133 с.*

*Поступила в редакцию 29.05.2013, рассмотрена на редколлегии 14.06.2013*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. кафедры производства двигателей летательных аппаратов Н.Д. Проничев, Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Россия.

### ВІЛЬНА ТУРБІНА ГТД НА ПІДШИПНИКАХ КОВЗАННЯ

*Є.Ф. Паровай*

У статті описано компоновку вільної турбіни газотурбінного двигуна для наземного застосування на підшипниках ковзання. Дано огляд конструкції опорного гідродинамічного підшипника, докладно розглянуто конструкцію системи підведення мастила в навантажений вкладиш гідродинамічного підшипника, конструкцію вкладиша, опорного підшипника в цілому. Заміна підшипників кочення на високоефективні сегментні підшипники ковзання з самоустановлюючимися вкладишами дозволить експлуатувати двигун на більш високих частотах обертання, підвищити динамічну стійкість ротора, спростити масляну і інші системи двигуна.

**Ключові слова:** вкладиш, гідродинамічний підшипник, зазор, компонування, вільна турбіна, система підведення мастила.

### GTE FREE TURBINE WITH SLIDE BEARINGS

*Ye.F. Parovay*

The article describes the layout of GTE free turbine for ground using. The review of the support hydrodynamic bearing structure, design of the supplying and lubricant systems, loaded insert design, insert design as a whole. Replacement bearings for high-performance segment with spherical plain bearing inserts will allow the engine to operate at higher speeds, improve the dynamic stability of the rotor, to simplify oil and other engine system.

**Key words:** insert, hydrodynamic bearing, clearance, the layout, free turbine, lubricant supply system, segment.

**Паровай Елена Фёдоровна** – инженер ОНИЛ-1 Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Россия, e-mail: selenapa@mail.ru.