

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»
XVIII Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XVIII Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»**

**PROCEEDINGS
of the XVIII International Scientific Conference
for students and young scholars
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»**

**2023
Астана**

УДК 001+37
ББК 72+74
G99

**«GYLYM JÁNE BILIM – 2023» студенттер мен жас ғалымдардың
XVIII Халықаралық ғылыми конференциясы = XVIII
Международная научная конференция студентов и молодых
ученых «GYLYM JÁNE BILIM – 2023» = The XVIII International
Scientific Conference for students and young scholars «GYLYM JÁNE
BILIM – 2023». – Астана: – 6865 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.**

ISBN 978-601-337-871-8

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001+37
ББК 72+74

ISBN 978-601-337-871-8

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2023**

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОСТАТКА ТОПЛИВА В БАКАХ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Садыкпаев А.С.

rzoro0632@gmail.com

Студент 4-го курса кафедры «Космическая техника и технологии» ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Ашуров А.Е.

Пребывая в космическом пространстве, спутник подвержен многим внешним возмущениям, приводящие к деградации его орбиты. Для компенсации этих воздействий применяются двигательные установки (ДУ), расположенные на борту космического аппарата (КА), задачей которых также является вывод КА с орбиты после срока эксплуатации. Основным ресурсом для создания импульсов в ДУ служит топливо, расходуемое по мере его использования. Его запас напрямую связан с продолжительностью службы КА, т.к. полное истощение топлива приведет к негодности ДУ, что не позволит корректировать и удерживать спутник на целевой орбите [1].

Мониторинг количества топлива позволяет определить расходы для совершения маневров, выявить возможную утечку, оптимизировать производительность и обезопасить полет. Однако при его оценке могут возникнуть ошибки, приводящее к неточному расчету. К ним можно отнести:

1. неисправность измерительных приборов (датчиков);
2. воздействие гравитации;
3. появление утечек;
4. изменение плотности топлива.

Целью данной статьи является обзор всевозможных методов оценки остатка топлива и выбор оптимального решения для вычисления точного остатка содержимого баков.

Существует два основных метода определения оставшегося топлива в баках [2]:

- по огневому времени работы;
- по телеметрическим показаниям датчиков на борту.

Метод огневого времени работы заключается в разности начальной и израсходованной массе рабочего тела (РТ), и определяется по следующей формуле:

$$m = m_0 - Q_{уд} \cdot t_{ог} \quad (1)$$

где m – текущее значение массы, m_0 – начальный уровень топлива в баке; $Q_{уд}$ – удельный расход топлива, зависящий от конструктивных параметров двигателя; $t_{ог}$ – огневое время работы двигателя (время, в течение которого двигатель потреблял топливо)

Достоинствами данного метода являются его простота и доступность, т.к. необходимо знать лишь один параметр – огневое время работы. К недостаткам данного метода относится невозможность выявления утечек, а также неточность оценки в виду непостоянного удельного расхода, связанного с изменением работы двигателя.

На борту КА могут использоваться различные датчики для определения количества топлива, такие как: датчики масс, давления и температуры, ультразвуковые, лазерные.

Принцип работы датчиков масс заключается в измерении изменения массы. К самыми распространенным из них относятся датчики напряжения и деформации. Они работают на основе эффекта пьезоэлектрического преобразования, когда при изменении массы объекта меняется его форма и соответственно, меняется напряжение, создаваемое на поверхности материала. Датчик деформации состоит из тонкой пластины из материала, такого как кварц, которая прикрепляется к жесткому основанию. Когда на него действует нагрузка, пластина деформируется, что приводит к появлению на ее поверхности напряжений, которые могут

быть измерены с помощью внутренних электродов. К достоинствам использования датчиков масс относятся: точность измерения, связанная с тем, что они не зависят от свойств самого топлива (плотность или температура); надежность и автоматизация. К недостаткам: высокая стоимость, сложность монтажа.

Лазерные датчики используют лазерный луч для определения уровня топлива в баке. Лазерный луч проходит через стенки бака и отражается от поверхности топлива. Оптический датчик регистрирует отраженный луч, и по времени, необходимому для прохождения лазерного луча и его отражения, можно вычислить массу топлива в баке. Лазерные датчики обеспечивают точное бесконтактное измерение остатка топлива, однако они не могут использоваться для измерения остатка топлива в баках из некоторых материалов, таких как металлы, поскольку они не пропускают лазерный свет.

Принцип работы ультразвуковых датчиков заключается в следующем: т.к. скорость распространения волн зависит от плотности среды, путем измерения времени, необходимого для прохождения ультразвуковой волны через топливо, можно определить его плотность. Скорость распространения ультразвука зависит от упругих свойств среды, в которой он распространяется:

$$v = f\lambda \quad (2)$$

где v – скорость ультразвука; f и λ – частота и длина ультразвуковой волны
После определения плотности масса вычисляется по несложной формуле:

$$m = \rho V \quad (3)$$

где ρ – плотность РТ, V – объем бака, в котором оно хранится

Относительно предыдущих датчиков, ультразвуковые могут похвастаться небольшой стоимостью и высокой точностью, но они гораздо больше подвержены влиянию окружающей среды – могут быть чувствительны к изменению температуры и давления внутри бака, ограничены при работе в условиях невесомости и формой бака. Все это может привести к неточным измерениям.

Использование датчиков давления и температуры заключается в вычислении плотности РТ с помощью математических моделей, и определении массы по формуле (3).

К математическим моделям, определяющим плотность вещества, относятся его термодинамическое состояние при различных параметрах давления и температуры [3]:

- модель идеального газа;
- модель Ван-дер-Ваальса;
- модель Редлиха-Квонга;
- модель Пэнг-Робинсона.

В виду того, что топливо на борту предпочитают хранить в газообразном состоянии, далее будут рассмотрены уравнения описывающее состояние газа.

Модель идеального газа описывается уравнением Менделеева-Клайперона:

$$pV = \nu RT \quad (4)$$

Зная, что $\nu = \frac{m}{M}$, уравнение 4 примет вид:

$$\rho = \frac{pM}{RT} \quad (5)$$

где p – давление в баке, ν – количество моль вещества, T – температура РТ, R – универсальная газовая постоянная, M – молярная масса вещества

Данная модель применима при низких давлениях, т.к. реальные газы от идеальных отличаются характером изменения теплофизических свойств. Эта модель не учитывает силы межмолекулярного взаимодействия: силы притяжения и отталкивания между молекулами, их формы, размеры и структуры отдельных молекул. Следовательно, прогнозируемое и реальное значение массы будет иметь погрешность.

Следующие модели описывают поведение газа куда более приближенно.

Уравнение Ван-дер-Ваальса:

$$RT = \left(p + \frac{a}{\frac{M}{\rho}} \right) \left(\frac{M}{\rho} - b \right) \quad (6)$$

a и b – параметры, выраженные через критические свойства, учитывающие действие сил притяжения и отталкивания:

$$a = \frac{27R^2T_c^2}{64P_c} \quad (7)$$

$$b = \frac{RT_c}{8P_c} \quad (8)$$

Выразив плотность из уравнения (6), получится кубическое уравнение, решаемое формулой Кардано или применением ЭВМ. Модель Ван-дер-Ваальса не учитывает изменение энтропии при изменении температуры, а также объемы и формы молекул и их взаимодействия. Для более точного описания требуются сложные уравнения [4].

Уравнение Редлиха-Квонга является модифицированным уравнением Ван-дер-Ваальса:

$$p = \frac{RT}{\frac{M}{\rho} - b} - \frac{a}{\sqrt{T} \frac{M}{\rho} \left(\frac{M}{\rho} + b \right)} \quad (9)$$

a и b параметры для модели Редлиха-Квонга вычисляются иначе:

$$a = \frac{0.42748R^2T_c^{2.5}}{P_c} \quad (11)$$

$$b = \frac{0.08664RT_c}{P_c} \quad (12)$$

Это уравнение хорошо описывает состояния газа при низком давлении:

$$\frac{P}{P_c} < \frac{T}{2T_c} \quad (13)$$

При несоблюдении вышеуказанного условия, полученное значение плотности не будет соответствовать реальному.

В отличие от остальных моделей, модель Пэнг-Робинсона учитывает ацентрический фактор ω (меру не сферичности молекул):

$$p = \frac{RT}{\frac{M}{\rho} - b} - \frac{a\alpha}{\frac{M^2}{\rho} + 2b\frac{M^2}{\rho} - b^2} \quad (14)$$

$$\alpha = \left(1 + k \left(1 - \frac{T^{0.5}}{T_c} \right) \right)^2 \quad (15)$$

$$k \approx 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2 \quad (16)$$

a и b параметры для уравнения состояния Пэнг-Робинсона вычисляются с другими коэффициентами:

$$a = \frac{0.45724R^2T_c^2}{P_c} \quad (17)$$

$$b = \frac{0.0778RT_c}{P_c} \quad (18)$$

α – коэффициент температурного расширения

Данная модель наиболее приближенно описывает свойства реального газа, и применима для вычисления плотности рабочего тела.

Подводя итоги анализа используемых методов оценки остатка топлива, наиболее перспективным считается использование датчиков масс, ввиду высокой точности измерения, надежности и отсутствия ошибок, связанных с человеческим фактором.

Список литературы

1. <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2014058503>
2. Soria-Salinas A., Zorzano M.-P., Martín-Torres J., Sánchez-García-Casarrubios J., Pérez-Díaz J.-L., Vakkada-Ramachandran A., A Xenon Mass Gauging through Heat Transfer Modeling for Electric Propulsion Thrusters// International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:11, No:1, 2017, с. 98
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Cubic_equations_of_state#Peng%E2%80%93Robinson_equation_of_state
4. Walas S.M., Phase equilibria in chemical engineering. Lawrence: University of Kansas, 1985, с.18,27

УДК 629.783

СПУСК КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С НИЗКОЙ ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЫ В КОНЦЕ СРОКА СЛУЖБЫ

Сарина Айгерим Ерболовна
rabbitsarinal8@gmail.com

Студент бакалавриата 4 курса кафедры «Космическая техника и технологии» Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Ашуров А.Е.

Каждый год развитие космической отрасли приносит нам новую партию спутников, отправляемых на орбиты Земли. Самым используемым пространством в космосе около Земли считается низкая околоземная орбита, чья высота варьируется от 160 км до 2000 км над поверхностью Земли [1].

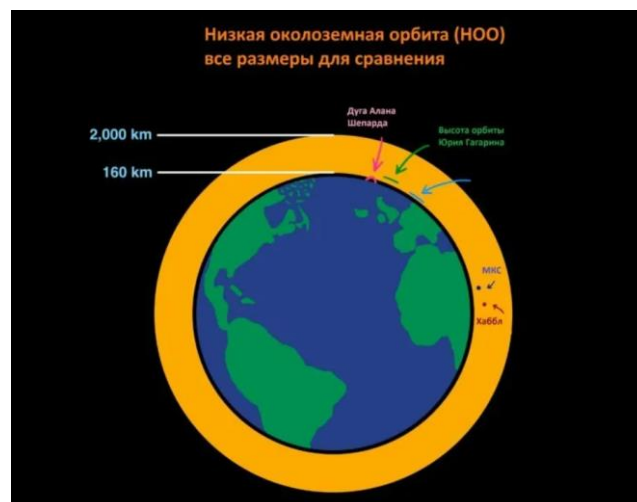


Рисунок 1. Низкая околоземная орбита

Резкая заполняемость орбит на этой высоте приводит к возникновению различных проблем – столкновению спутников и/или возникновению космического мусора.