

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТУРИСТОВ — ОБИТАТЕЛЕЙ ОКОЛОЗЕМНОЙ И ОКОЛОЛУННОЙ ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ-ГОСТИНИЦ

И.К. Иванов<sup>1</sup>

С.Е. Пугаченко<sup>1,2</sup>

Н.А. Ткачев<sup>1</sup>

ilja1994@gmail.com

pugachenkos@bmstu.ru

nick.t765@yandex.ru

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Рассмотрены пилотируемые орбитальные станции-гостиницы, предназначенные для периодического посещения группами космических туристов. Цель исследования: выбрать рациональный способ утилизации отходов, образующихся при эксплуатации орбитальной станции. Приведены четыре варианта утилизации отходов жизнедеятельности туристов — обитателей околоземной и окололунной орбитальных станций-гостиниц для трех вариантов численности экспедиций посещения. В ходе исследования использован метод системного анализа с разработкой математической модели пилотируемой космической инфраструктуры. Получена оценка влияния каждого способа на экономические затраты при проектировании, производстве и эксплуатации орбитальных станций. Проведен сравнительный анализ возможных способов утилизации отходов. На основе полученных результатов предложены рациональные варианты для обеих орбитальных станций. В качестве критерия рациональности выбраны показатели затрат на программу и удельных затрат на одно посещение одним туристом

### Ключевые слова

*Орбитальная станция-гостиница, космический турист, утилизация отходов, баллистическая капсула, мусоросжигательная печь, термокомпрессор, транспортный грузовой корабль*

Поступила 17.07.2019

Принята 30.07.2019

© Авторы, 2020

---

**Введение.** При проектировании орбитальной станции (ОС) необходимо решить целый ряд задач по безопасному и комфортному пребыванию людей в космическом пространстве. Одним из наиболее важных вопросов является утилизация отходов жизнедеятельности, а также различного

оборудования, выработавшего свой ресурс. Утилизация отходов на исследовательских околоземных ОС «Мир» и МКС осуществлялась в результате сгорания отходов в составе транспортных грузовых кораблей (ТГК), совершающих неуправляемый спуск в атмосфере после завершения полета в составе станции [1]. Такой способ утилизации явился следствием выбора транспортной системы в составе пилотируемых и грузовых кораблей. В основе такого выбора лежат начальные ограничения по размерности корабля, соответствующие ракете-носителю (РН) «Союз». Из соображений гибкости программы полетов, надежности и безопасности признано целесообразным разделить между кораблями функции транспортировки экипажа (пилотируемый корабль), доставки грузов и управления движением в составе станции (грузовой корабль). В настоящей статье в качестве объекта исследования выбрана посещаемая орбитальная станция-гостиница [2, 3]. Она может сочетать решение задач государственных космических программ с коммерческими задачами, научные исследования с космическим туризмом. При этом обеспечивается сокращение затрат на программу за счет эксплуатации ОС в режиме посещения экипажем.

Исследование, анализ и проектирование систем и средств утилизации является актуальной научно-технической задачей.

В [4] приведен обзор различных технологий переработки и утилизации отходов, которые обрабатывались в наземных условиях для возможного использования в космических полетах, например вакуумная сушка, переработка отходов с помощью различных термических способов и др. В [5–7] рассмотрена разработанная в Институте медико-биологических проблем РАН перспективная технология биодеградации отходов с помощью анаэробных микроорганизмов, позволяющая значительно уменьшить массу органического субстрата. В [8] предложены способы переработки мусора в газообразное состояние для его дальнейшего использования в атмосфере космического аппарата и для других нужд. В [9] проведен сравнительный анализ двух способов утилизации бортовых отходов для долгосрочной космической миссии: сброс отходов в открытый космос через шлюз и переработка мусора в газ для дальнейшего использования или утилизации. В [10] даны основные характеристики и описана работа бортового термокомпрессора (ТК) для утилизации и переработки отходов. В [11] рассмотрена методика регенерации воды из отходов с помощью такого ТК.

**Цель настоящей работы** — выбор рационального способа утилизации отходов, образующихся при эксплуатации ОС.

**Задачи исследования** — расчет характеристик программ околоземной и окололунной орбитальных станций-гостиниц для четырех способов утилизации отходов жизнедеятельности экипажа при трех вариантах численности экспедиций посещения; анализ полученных результатов расчета и выбор рационального способа утилизации.

**Исходные данные.** Назначением ОС, рассматриваемых в настоящей работе, является создание условий для комфортного и безопасного пребывания туристов на борту. Небесными телами, в окрестностях которых станции должны функционировать, являются Земля и Луна.

В ходе исследования рассмотрены три варианта численности экспедиций посещения: 4, 8 и 15 человек.

В состав каждой экспедиции посещения входят профессиональные космонавты, задача которых заключается в обеспечении транспортировки туристов в транспортном грузопассажирском корабле (ТГПК); обслуживании туристов на борту ОС; техническом обслуживании и ремонте станции-гостиницы.

Длительность экспедиции посещения группой составляет 14 суток. Периодичность полетов групп: 1 раз в 2 месяца для околоземной ОС и 1 раз в 6 месяцев для окололунной ОС.

Основные технические требования, предъявляемые к ОС:

- срок активного существования 30 лет;
- число стыковочных портов 3;
- высота орбиты размещения станции 400 км для околоземной ОС и 100 км для окололунной ОС;
- наклонение орбиты относительно плоскости экватора  $51,7^\circ$  для околоземной станции,  $90^\circ$  для окололунной станции.

В состав транспортной системы ОС входят:

- ТГПК для транспортировки туристов и космонавтов, грузов обеспечения жизнедеятельности, запасных частей и топлива;
- ТГК для транспортировки части грузов (только во втором варианте утилизации отходов, состав экспедиции 8 человек);
- РН для выведения модулей станции и кораблей на орбиту искусственного спутника Земли (ОИСЗ);
- межорбитальный буксир (МОБ) для транспортировки модулей и пилотируемых кораблей с ОИСЗ на орбиту искусственного спутника Луны (ОИСЛ);
- разгонный блок (РБ) для транспортировки грузовых кораблей с ОИСЗ на ОИСЛ (только во втором варианте утилизации отходов).

Рассмотрим следующие варианты утилизации отходов: в составе баллистической капсулы (БК) при спуске ее с орбиты; в составе ТГК при спуске его с орбиты; с помощью мусоросжигательной печи и с помощью ТК.

Баллистические капсулы использованы для спуска на Землю результатов экспериментов и исследований с ОС «Мир» (рис. 1, а) [12]. Предложено использовать БК без теплозащиты и парашютной системы для утилизации отходов жизнедеятельности экипажа орбитальных станций-гостиниц. Капсулы доставляются на ОС в составе ТГПК в ходе полета экспедиции посещения. После заполнения БК выталкивается за пределы станции посредством шлюзовой камеры, где осуществляется ее торможение пороховыми двигателями, в результате чего она стораит в атмосфере Земли или совершает жесткую посадку в выбранном районе лунной поверхности.

Примеры ТГК во втором варианте — это корабли «Прогресс» (рис. 1, б) в различных модификациях, а также корабли ATV (ESA), HTV (Jaxa), Dragon (SpaceX), Cygnus (Orbital), Тяньчжоу (CNSA), используемые в программах околоземных ОС [12, 13]. В данном варианте грузопоток ОС распределяется между ТГК и ТГПК. Грузовой корабль доставляет к станции часть грузов обеспечения жизнедеятельности, запасные части и топливо. В совместном полете в составе станции ТГК постепенно загружается отходами. По завершении экспедиции ТГК отстыковывается от станции, осуществляет торможение и стораит в атмосфере Земли или совершает жесткую посадку в выбранном районе лунной поверхности.

Мусоросжигательные печи (рис. 1, в) в настоящее время нашли свое применение на морских судах. В такой печи можно уничтожить практически все виды судовых отходов, за исключением металла и стекла, которые обычно отделяют из общей массы [14]. Предложено оборудовать ОС мусоросжигательной установкой для утилизации отходов жизнедеятельности. Мусор загружается в печь и сжигается. Продукты сгорания выбрасываются в космическое пространство направленной струей газа.

Термокомпрессор Heat Melt Compactor (рис. 1, г) разработан в НАСА для переработки отходов жизнедеятельности экипажей межпланетных кораблей. Термокомпрессор предназначен для сушки отходов и их прессования в небольшие стерильные плитки, которые затем используются для радиационной защиты космического аппарата. Очищенные газы и воду, полученные из отходов, используют для нужд экипажа [11]. В этом варианте утилизации отходов предполагается использовать ТК, рабочий цикл которого составляет 14 ч [15], для прессования мусора и регенерации из него части воды и воздуха. Получившиеся плитки сжигаются



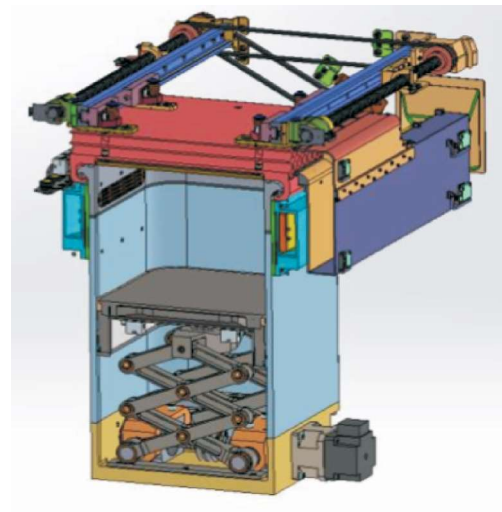
*а*



*б*



*в*



*г*

**Рис. 1.** Средства утилизации:

*а* — БК «Радуга»; *б* — ТГК «Прогресс»; *в* — мусоросжигательная печь СП-50;  
*г* — ТК Heat Melt Compactor

в печи. Продукты сгорания вместе с неиспользованными газами сбрасываются в космическое пространство направленной струей.

Принимаемые значения основных характеристик систем утилизации отходов приведены в табл. 1.

Для околоземной ОС используется схема полета, приведенная на рис. 2, согласно которой ТГПК с экипажем выводится на опорную орбиту в составе РН. После разделения корабля с носителем двигателями первого последовательно выдаются несколько импульсов тяги для перехода с орбиты отделения на орбиту стыковки со станцией. В расчете затрат рабочего топлива на довыведение и стыковку ТГПК принят упрощенный

вариант, при котором довыведение представляет собой двухимпульсный межорбитальный переход Гомана между круговыми компланарными орбитами. После завершения экспедиции посещения выполняются расстыковка, торможение, отделение двигательного отсека и спуск возвращаемого аппарата с экипажем на Землю.

Таблица 1

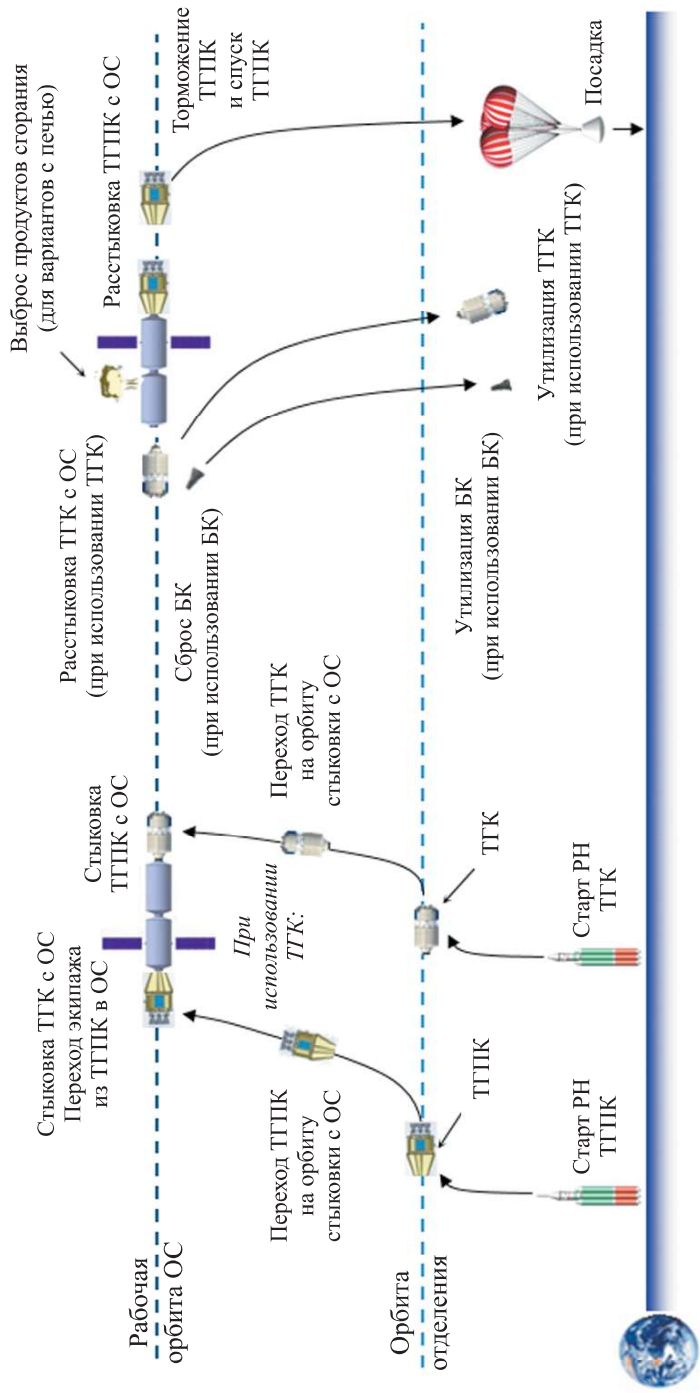
#### Характеристики систем утилизации отходов

Средство утилизации	Масса средства утилизации, кг/шт.	Масса вспомогательных средств утилизации, кг	Энергопотребление средства утилизации, кВт/шт.	Энергопотребление вспомогательных средств утилизации, кВт
БК	190	780	–	2,2
ТГК	–	380	0,3	2,2
Печь	1350	380	7,0	2,2
ТК	33	1350	0,3	7,0

Периодический маневр подъема круговой орбиты ОС также представляет собой компланарный двухимпульсный переход.

Для окололунной ОС используется схема полета, показанная на рис. 3. Она представляет собой многопусковую схему со стыковкой транспортных кораблей и межорбитальных буксиров (МОБ) на низкой околоземной орбите. Транспортировка ТГПК на ОИСЛ выполняется в связке с МОБ. Отлетный импульс для перехода ТГПК с ОИСЛ на траекторию возвращения к Земле выдается средствами ТГПК. На схеме приведены основные этапы полета ТГК для варианта с использованием ТК и операции по сбросу и утилизации БК для соответствующего варианта.

**Метод решения.** В основу исследований положен метод системного анализа орбитальных средств, средств выведения и наземной инфраструктуры. Модель космической системы включает в себя более 30 подмоделей, в том числе целевую нагрузку, долговременные и транспортные орбитальные средства, средства выведения, модели орбитального движения, деятельности экипажа, грузопотока и др. Наземная космическая инфраструктура отражена в расчетах экономической модели. В модели запусков и полетов, а также в модели бортовых систем прослеживается изменение параметров космической системы во времени. В ходе расчета используются до 500 параметров-констант, числовые значения которых определены из опыта полетов ОС «Мир» и МКС.



**Рис. 2.** Схема полета экспедиции посещения к околоземной ОС





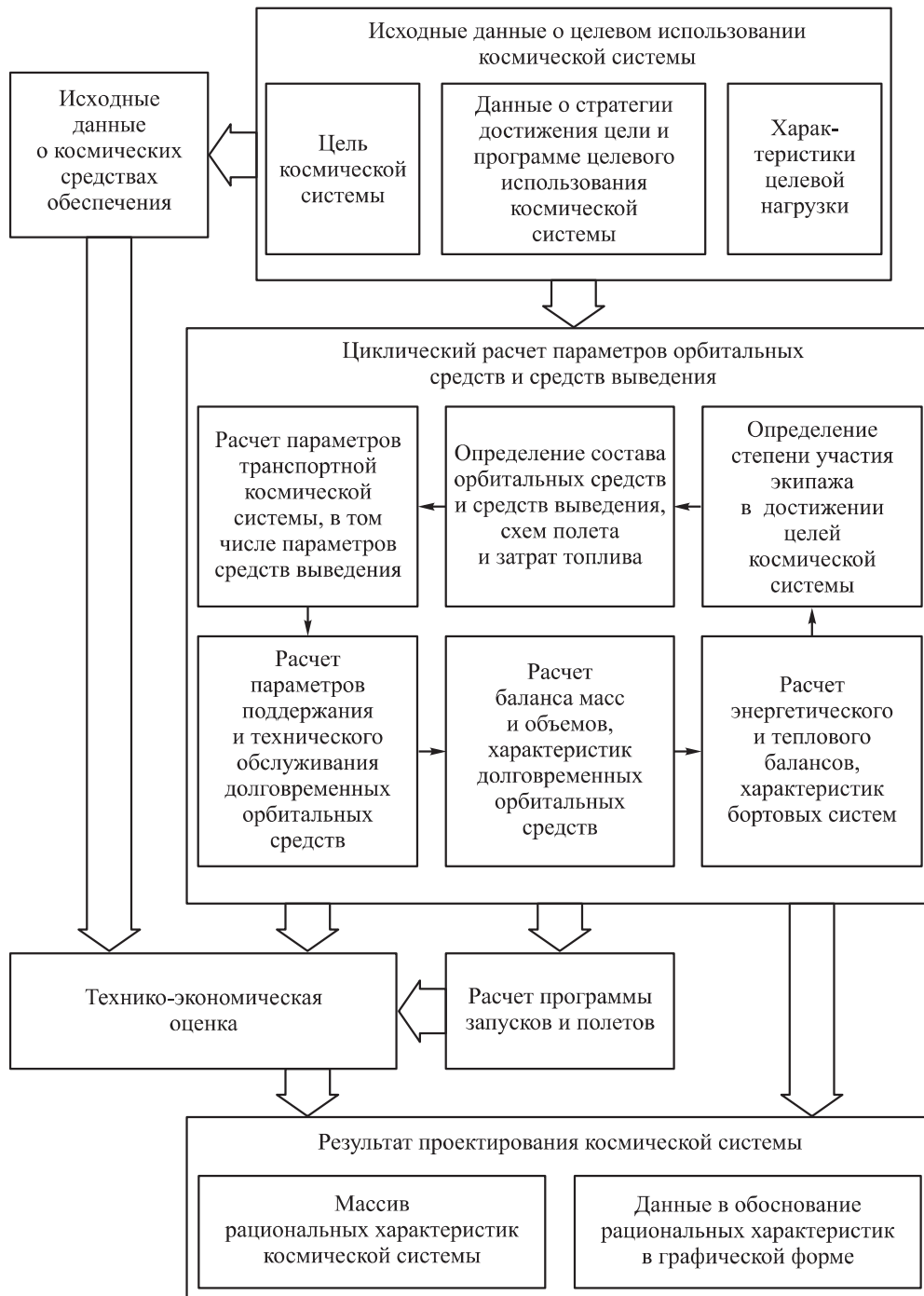


Рис. 4. Структурная схема расчета

Модель космической системы формируется в результате итерационного процесса: ряд объемно-массовых параметров, принимаемых в начале расчета, определяется в его итоге. Числовые значения параметров, составляющих массив решения задачи моделирования, первоначально задаются оператором либо образуются в результате расчетов моделей. Их число составляет ~ 1400.

Более подробно методический подход к построению математической модели изложен в [16]. Структурная схема расчета приведена на рис. 4.

В качестве критерия рациональности рассматриваются затраты на программу околоземной и окололунной орбитальных станций-гостиниц в течение всего срока активного существования и удельные затраты на одно посещение станции одним туристом. Расчет влияния способов утилизации отходов на экономические затраты программ по созданию орбитальных станций-гостиниц был выполнен в системе MathCAD [17].

Орбитальные станции также должны удовлетворять обычным требованиям надежности и безопасности: вероятность безотказной работы станций за время, соответствующее сроку их активного существования, должна составлять 0,98 при обеспечении заданных условий эксплуатации, включая техническое обслуживание и ремонт на орбите экипажем станций. В настоящей работе не приведен анализ надежности и безопасности ОС. Однако характеристики масс станций, получаемые в результате расчета, позволяют учесть требования эксплуатации. В системах энергоснабжения и обеспечения жизнедеятельности резервирование некоторых элементов заложено в расчет числа приборов и агрегатов. В статистических значениях удельных параметров учтена необходимая избыточность для обеспечения надежности и безопасности станции.

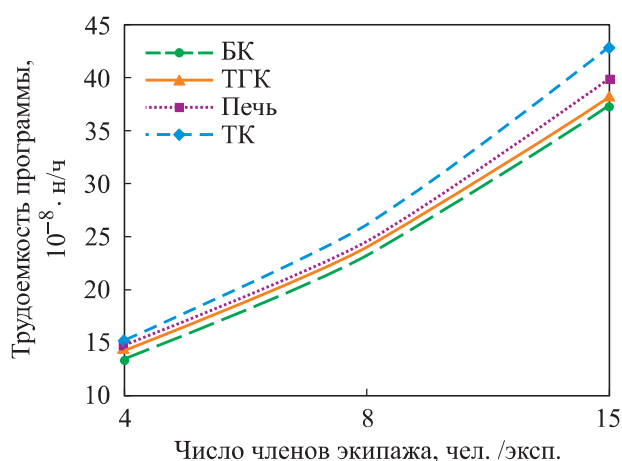
**Результаты исследования.** Результаты расчета основных характеристик программы околоземной ОС, в том числе экономических затрат, приведены в табл. 2 и на рис. 5, 6.

Таблица 2

**Основные характеристики программы околоземной ОС  
для экспедиции из 4, 8 и 15 человек**

Параметр	Средство утилизации отходов			
	БК	ТГК	Печь	ТК
Число модулей ОС	2/3/3	2/3/3	3/3/3	3/4/4
Масса ОС, т	39,4/44,6/55,3	37,6/42,1/49,4	48,9/53,0/62,4	51,7/60,7/77,7

Параметр	Средство утилизации отходов			
	БК	ТГК	Печь	ТК
Необходимый грузопоток ОС, т/г	5,76/9,62/16,46	3,98/6,67/11,47	4,53/7,27/12,10	4,50/7,32/12,10
Масса отходов жизнедеятельности, т/г	2,94/4,86/8,28	2,88/4,78/8,16	3,38/5,30/8,69	3,45/5,52/9,14
Требуемое число пусков	182/183/183	362/363/363	183/183/183	183/184/184
Трудоемкость программы околоземной ОС, $10^{-9}$ · нч	1,36/2,34/3,75	1,43/2,41/3,80	1,49/2,46/3,98	1,53/2,62/4,29

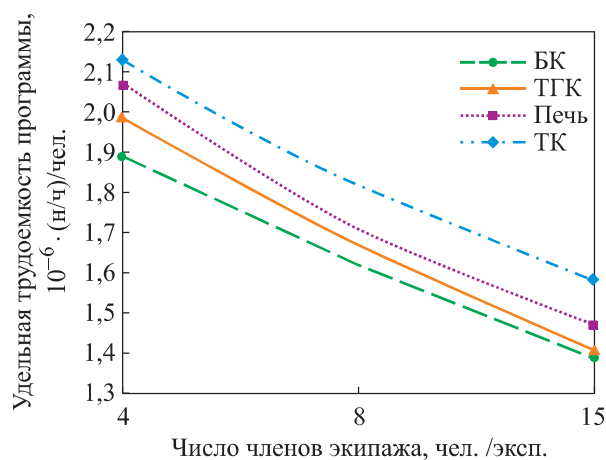


**Рис. 5.** Зависимость экономических затрат для околоземной ОС от численности экспедиции

Результаты расчета основных характеристик программы окололунной ОС, в том числе экономических затрат, приведены в табл. 3 и на рис. 7, 8.

Из результатов расчета околоземной ОС следует, что приоритетными с точки зрения экономических затрат являются варианты БК и ТГК, в которых для утилизации отходов используются транспортные орбитальные средства.

Другие два варианта оказываются менее предпочтительными, поскольку на переработку отходов расходуются существенные дополни-



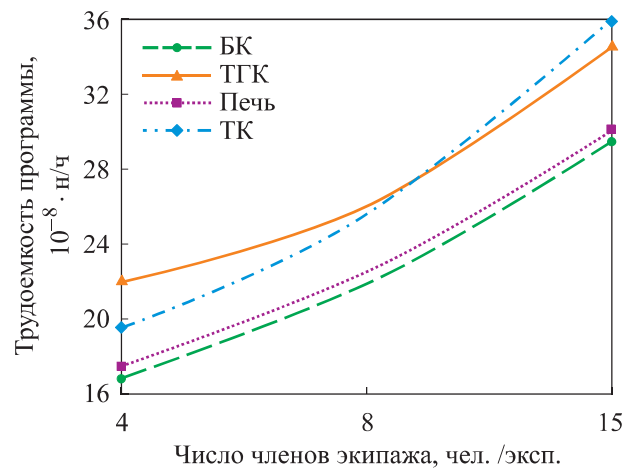
**Рис. 6.** Зависимость удельных экономических затрат для околоземной ОС, приходящихся на одного туриста одной экспедиции, от численности экипажа

тельные бортовые ресурсы массы, энергоснабжения, сброса теплоты и др. Такая закономерность наблюдается во всем рассматриваемом диапазоне численности экипажа.

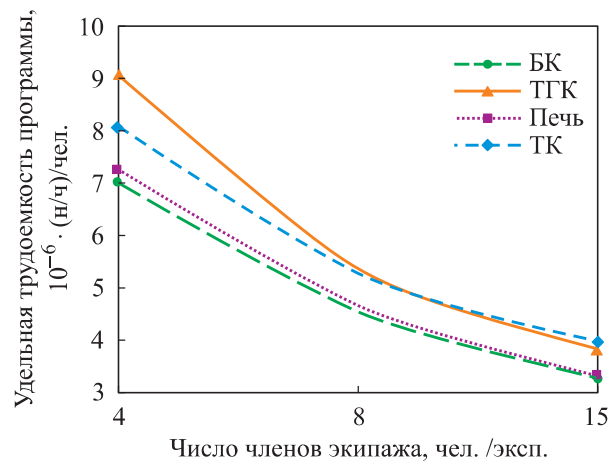
Таблица 3

**Основные характеристики программы окололунной ОС для экспедиции из 4, 8 и 15 человек**

Параметр	Средство утилизации отходов			
	БК	ТГК	Печь	ТК
Число модулей ОС	3/4/4	3/3/4	3/4/4	4/5/6
Масса ОС, т	54,8/66,5/81,3	50,2/56,4/72,4	61,1/71,1/83,2	74,5/90,2/114,9
Необходимый грузопоток ОС, т/г	3,34/4,93/7,77	2,13/3,19/5,13	2,65/3,70/5,64	3,01/4,27/6,52
Масса отходов жизнедеятельности, т/г	1,85/2,68/4,19	1,71/2,50/3,97	2,23/3,01/4,47	2,62/3,63/5,47
Требуемое число пусков	126/128/128	186/186/188	126/128/128	128/130/132
Трудоемкость программы окололунной ОС, $10^{-9}$ · нч	1,69/2,19/2,94	2,18/2,59/3,43	1,74/2,25/2,99	1,95/2,55/3,59



**Рис. 7.** Зависимость экономических затрат для окололунной ОС от численности экспедиции



**Рис. 8.** Зависимость удельных экономических затрат для окололунной ОС, приходящихся на одного туриста одной экспедиции, от численности экипажа

В случае окололунной станции-гостиницы ввиду ее удаленности наблюдается рост затрат на транспортные операции пилотируемых и грузовых кораблей. При этом второй вариант заметно уступает первому и третьему вариантам по затратам. Также значительное увеличение экономических затрат можно видеть в варианте использования ТК. Это связано с его малой производительностью, вследствие которой с ростом необходимой к переработке массы отходов резко возрастает требуемое число средств утилизации.

Экономически выгодным методом утилизации отходов для экипажа окололунной ОС является использование БК, что также объясняется

низким значением дополнительной массы необходимого ресурсного оборудования.

Также при росте численности экспедиций наблюдается снижение разности затрат в вариантах с использованием БК и мусоросжигательной печи, т. е. с увеличением числа членов экипажа растет преимущество вариантов с переработкой мусора на борту.

В целом можно констатировать, что вблизи Земли предпочтительны варианты утилизации с использованием одноразовых транспортных средств: БК и ТГК, а для длительных экспедиций необходимо предусмотреть размещение на борту специального оборудования для утилизации отходов.

Удельные затраты заметно снижаются при увеличении численности экипажа экспедиции. При этом наблюдается рост суммарных затрат на программу и прежде всего первоначальных вложений в разработку, изготовление и развертывание космической инфраструктуры.

**Заключение.** Разработана методика выбора рационального способа утилизации отходов жизнедеятельности околоземной и окололунной орбитальных станций-гостиниц. Она использует системный анализ характеристик ОС. В качестве критерия рациональности использован показатель экономических затрат на программу ОС в течение всего срока активного существования и удельные затраты на одно посещение ОС одним членом экипажа.

В результате исследования, проведенного с помощью представленной методики, выявлено, что для околоземной и окололунной ОС экономически выгодным способом утилизации отходов является использование БК.

По мере удаления от Земли и увеличения численности экспедиций приоритетными становятся способы утилизации отходов, предусматривающие размещение и использование на борту специального оборудования для переработки отходов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Остапенко О.Н., Бармин И.В., Первов М.А. и др., ред. История развития отечественной пилотируемой космонавтики. М., Столичная энциклопедия, 2015, с. 484–596.
- [2] Ковинский А.А., Курицын А.А., Сиволап В.А. Анализ направлений коммерциализации пилотируемой космонавтики. *Пилотируемые полеты в космос*, 2016, № 1, с. 78–87.
- [3] Крикалев С.К., Сапрыкин О.А. Пилотируемая лунная инфраструктура и коммерциализация полетов к луне. *Пилотируемые полеты в космос*, 2016, № 1, с. 47–62.

- [4] Газенко О.Г., Кальвин М., ред. Основы космической биологии и медицины. М., Наука, 1975.
- [5] Ilyin V.K., Kostrov S.V., Lauriniavichius K.S., et al. Biodegradation of disposed means of personal hygiene. *SAE Tech. Pap.*, 2005, no. 2005-01-3024.  
DOI: <https://doi.org/10.4271/2005-01-3024>
- [6] Ilyin V.K., Smirnov I.A., Soldatov P.E., et al. Microbial utilization of natural organic wastes, for potential application for space technique. *Abs. 52nd IAC Cong.*, 2001, p. IAF/IAA-01-G.4.01.
- [7] Ilyin V.K., Kornuchenkova I.N., Starkova L.V., et al. Study of methanogenesis during bioutilization of plant residuals. *Acta Astronautica*, 2005, vol. 56, no. 4, pp. 465–470.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2004.05.077>
- [8] Hintze P., Maldonado E.S., Kulis M.J., et al. Trash to supply gas (TtSG) project overview. *AIAA SPACE 2012 Conf. & Exposition*, 2012, p. AIAA-2012-5254.  
DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2012-5254>
- [9] Linne D.L., Palaszewski B.A., Gokoglu S., et al. Waste management options for long-duration space missions: when to reject, reuse, or recycle. *7th Symp. Space Resource Utilization*, 2014, p. AIAA-2014-0497. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2014-0497>
- [10] Lee J.M., Fisher J.W., Pace G. Heat melt compactor development progress. *47th Int. Conf. Environmental Systems*, 2017, p. ICES-2017-267.
- [11] Balasubramaniam R., Hegde U., Gokoglu S. Analysis of water recovery rate from the heat melt compactor. *43rd Int. Conf. Environmental Systems*, 2013, p. AIAA-2013-3393.  
DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2013-3393>
- [12] Семёнов Ю.П., Лопота В.А., ред. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва. В 3 т. М., РКК «Энергия», 1996–2011.
- [13] Международная Космическая Станция. *bigenc.ru: веб-сайт*.  
URL: [https://bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/3346850](https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/3346850) (дата обращения: 15.12.2018).
- [14] Зубрилов С.П., Ищук Ю.Г., Косовский В.И. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов. Л., Судостроение, 1989.
- [15] Turner M.F., Fisher J.W., Broyan J., et al. Generation 2 heat melt compactor development. *44th Int. Conf. Environmental Systems*, 2014, p. ICES-2014-024.
- [16] Пугаченко С.Е. Моделирование пилотируемых ракетно-космических систем. *Девятый Междунар. Аэрокосм. Конгр.* М., МАТИ, 2018, с. 80–91.
- [17] Максфилд Б. Mathcad в инженерных расчетах. М., Корона-Век, МК-Пресс, 2010.

**Иванов Илья Константинович** — студент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Пугаченко Сергей Евгеньевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1); главный конструктор космических комплексов АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» (Российская Федерация, 121309, Москва, Новозаводская ул., д. 18).

**Ткачев Николай Андреевич** — студент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Иванов И.К., Пугаченко С.Е., Ткачев Н.А. Исследование вариантов утилизации отходов жизнедеятельности туристов — обитателей околоземной и окололунной орбитальных станций-гостиниц. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2020, № 2, с. 34–51. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2020-2-34-51>

**STUDYING THE WAYS TO DISPOSE WASTE PRODUCTS  
FROM TOURISTS — RESIDENTS OF NEAR-EARTH  
AND NEAR-LUNAR STATION-HOTELS**

**I.K. Ivanov**<sup>1</sup>

[ilja1994@gmail.com](mailto:ilja1994@gmail.com)

**S.E. Pugachenko**<sup>1,2</sup>

[pugachenkos@bmstu.ru](mailto:pugachenkos@bmstu.ru)

**N.A. Tkachev**<sup>1</sup>

[nick.t765@yandex.ru](mailto:nick.t765@yandex.ru)

<sup>1</sup> **Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation**

<sup>2</sup> **Khrunichev State Research and Production Space Center,  
Moscow, Russian Federation**

---

**Abstract**

The paper deals with manned orbital station-hotels built for regular visits of space tourists. The purpose of the study was to find a rational method to dispose waste products from the orbital station operation. For three options of the crew number, we introduce four ways to dispose waste products from tourists — residents of the near-earth and near-lunar orbital station-hotels. During the study, we used a system analysis method and developed a mathematical model of the manned space infrastructure. We estimated the effect of each method on economic costs in the design, manufacture and operation of the orbital stations and carried out a comparative analysis of the possible methods of waste disposal. Based

**Keywords**

*Orbital station-hotel, space tourist, waste disposal, ballistic capsule, incinerator, Heat Melt Compactor, expendable cargo spacecraft*



---

on the results obtained, we propose rational options  
for both orbital stations. As a criterion of rationality, Received 17.07.2019  
we chose indicators of program costs and unit costs Accepted 30.07.2019  
for one visit by one tourist © Author(s), 2020

---

## REFERENCES

- [1] Ostapenko O.N., Barmin I.V., Pervov M.A., et al., eds. *Istoriya razvitiya otechestvennoy pilotiruemyy kosmonavtiki* [Development history of native manned cosmonautics]. Moscow, Stolichnaya entsiklopediya Publ., 2015, pp. 484–596.
- [2] Kovinskiy A.A., Kuritsyn A.A., Sivolap V.A. Analysis of commercialization trends of manned space exploration. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2016, no. 1, pp. 78–87 (in Russ.).
- [3] Krikalev S.K., Saprykin O.A. Manned lunar infrastructure and commercialization of flights to the moon. *Pilotiruemye polety v kosmos*, 2016, no. 1, pp. 47–62 (in Russ.).
- [4] Gizenko O.G., Kal'vin Moscow, eds. *Osnovy kosmicheskoy biologii i meditsiny* [Fundamentals of cosmic biology and medicine]. Moscow, Nauka Publ., 1975.
- [5] Ilyin V.K., Kostrov S.V., Lauriniavichius K.S., et al. Biodegradation of disposed means of personal hygiene. *SAE Tech. Pap.*, 2005, no. 2005-01-3024. DOI: <https://doi.org/10.4271/2005-01-3024>
- [6] Ilyin V.K., Smirnov I.A., Soldatov P.E., et al. Microbial utilization of natural organic wastes, for potential application for space technique. *Abs. 52nd IAC Cong.*, 2001, p. IAF/IAA-01-G.4.01.
- [7] Ilyin V.K., Kornuchenkova I.N., Starkova L.V., et al. Study of methanogenesis during bioutilization of plant residuals. *Acta Astronautica*, 2005, vol. 56, no. 4, pp. 465–470. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2004.05.077>
- [8] Hintze P., Maldonado E.S., Kulis M.J., et al. Trash to supply gas (TtSG) project overview. *AIAA SPACE 2012 Conf. & Exposition*, 2012, p. AIAA-2012-5254. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2012-5254>
- [9] Linne D.L., Palaszewski B.A., Gokoglu S., et al. Waste management options for long-duration space missions: when to reject, reuse, or recycle. *7th Symp. Space Resource Utilization*, 2014, p. AIAA-2014-0497. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2014-0497>
- [10] Lee J.M., Fisher J.W., Pace G. Heat melt compactor development progress. *47th Int. Conf. Environmental Systems*, 2017, p. ICES-2017-267.
- [11] Balasubramaniam R., Hegde U., Gokoglu S. Analysis of water recovery rate from the heat melt compactor. *43rd Int. Conf. Environmental Systems*, 2013, p. AIAA-2013-3393. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2013-3393>
- [12] Semenov Yu.P., Lopota V.A., eds. *Raketno-kosmicheskaya korporatsiya "Energiya" imeni S.P. Koroleva. V 3 t* ["Energy" rocket-space corporation n.a. Korolev S.P. In 3 vols.]. Moscow, RKK "Energiya", Publ. 1996–2011.

- [13] Mezhdunarodnaya Kosmicheskaya Stantsiya [International Space Station]. *bigenc.ru: website*. Available at: [https://bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/3346850](https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/3346850) (accessed: 15.12.2018) (in Russ.).
- [14] Zubrilov S.P., Ishchuk Yu.G., Kosovskiy V.I. Okhrana okruzhayushchey sredy pri ekspluatatsii sudov [Environment protection at watercraft exploitation]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1989.
- [15] Turner M.F., Fisher J.W., Broyan J., et al. Generation 2 heat melt compactor development. *44th Int. Conf. Environmental Systems*, 2014, paper ICES-2014-024.
- [16] Pugachenko S.E. [Modelling of manned rocket-space systems]. *Devyatj Mezhdunar. Aerokosm. Kongr.* [9th Int. Aerospace Cong.]. Moscow, MATI Publ., 2018, pp. 80–91 (in Russ.).
- [17] Maxfield B. Engineering with Mathcad. Using Mathcad to create and organize your engineering calculations. Butterworth-Heinemann, 2006.

**Ivanov I.K.** — Student, Department of Spacecraft and Launch Vehicles, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Pugachenko S.E.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Spacecraft and Launch Vehicles, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation); Main Designer of Space Complexes, Khrunichev State Research and Production Space Center (Novozavodskaya ul. 18, Moscow, 121087 Russian Federation).

**Tkachev N.A.** — Student, Department of Spacecraft and Launch Vehicles, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Ivanov I.K., Pugachenko S.E., Tkachev N.A. Studying the ways to dispose waste products from tourists — residents of near-earth and near-lunar station-hotels. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2020, no. 2, pp. 34–51 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2020-2-34-51>