

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЗАСОРЕНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара*

Рассмотрена проблема космического мусора, которая стала актуальной в последние десятилетия. Приведены некоторые концепции систем для его сбора, утилизации и транспортировки. Предложены новые блок-схемы для утилизации и переработки космического мусора.

*Ключевые слова: космический мусор, утилизация, спутник.*

Е. С. Клюев, С. Г. Бондаренко, О. А. Святун

*Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара*

## АЛЬТЕРНАТИВНИЙ МЕТОД ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗАСМІЧЕННЯ НАВКОЛОЗЕМНОГО КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ

Розглянуто проблему космічного сміття, яка стала актуальною в останні десятиріччя. Наведено деякі концепції систем для його збирання, утилізації та транспортування. Запропоновані нові блок-схеми для утилізації та переробки космічного сміття.

*Ключові слова: космічне сміття, утилізація, супутник.*

E. S. Klyuev, S. G. Bondarenko, A. A. Svjatun

*O. Gonchar Dnipropetrovsk National University*

## AN ALTERNATIVE METHOD OF REDUCING OF NEAR-EARTH SPACE POLLUTION

The problem of space debris has become urgent recently. In the article some concepts of the debris collection, utilization and transportation systems are presented. The new flow charts for space debris recycling are proposed.

*Key words: near-Earth space, space debris, utilization.*

Пятьдесят два года назад весь научный мир завораживающе наблюдал за первым космическим «экспериментом» – запуском первого искусственного спутника Земли. Возможно, что тогда, на заре космической эры, никто и не задумывался, что такое чрезвычайно важное событие в истории развития космических исследований может стать предпосылкой к возникновению проблемы, которая вот уже несколько десятков лет занимает умы мировой научной общественности. Речь пойдет о загрязнении околоземного пространства космическим мусором (КМ). В наше время, когда каждый год правительства разных стран, мобильные операторы, телерадиокоммуникационные и GPS компании запускают на орбиту сотни спутников, эта проблема становится все более актуальной и злободневной.

Что же можно отнести к такому весьма широкому понятию, как КМ? Сюда следует включить «отходы» антропогенного характера, находящиеся на околоземной орбите, срок эксплуатации которых уже исчерпан, а именно:

- отработавшие и оставшиеся на орбите последние ступени ракет-носителей (РН) и космические разгонные блоки (КРБ) с остатками компонентов топлива;
- неактивные и неуправляемые космические аппараты (КА);
- фрагменты и осколки конструкций от самопроизвольного разрушения КА и последних ступеней РН;
- фрагменты и осколки конструкций от случайного столкновения между космическими объектами и т. д.

На сегодняшний день КМ изучен достаточно хорошо. По данным Российской академии наук, около 85 % КМ приходится на долю крупных частей РН и КРБ, а также отработанных спутников. Ещё 12 % – это элементы конструкции, отделяющиеся в процессе запуска спутников и последующей их эксплуатации (пироболты,

заглушки, переходники и т.д.). Все остальное – мелкие фракции и осколки, возникшие в результате соударения космических объектов.

О плотности распределения КМ можно судить по нижеприведенному графику (рис. 1) (Рыхлова, 1993). Из графика видно, что космические объекты наиболее сосредоточены на высотах до 2000 км, т.е. на низких околоземных орбитах, также вращаются они на высотах около 20 000 км и на высотах свыше 30 000 км (район геостационарной орбиты).

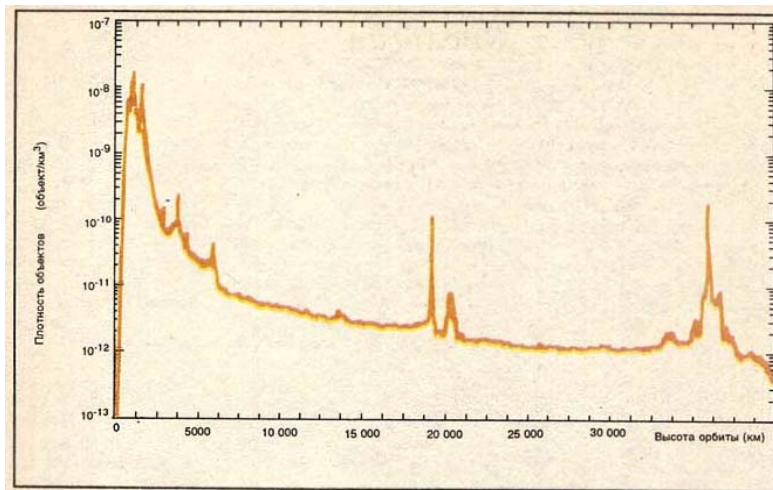


Рис. 1. Пространственная плотность распределения космических объектов

На рис. 2 (Рыхлова, 1993) показано рост числа взрывов КА в разные периоды времени. Из графика видно, что число взрывов с каждым периодом времени возрастает по сравнению с предыдущим. И в период 1981–1991 гг. это число составило 4,5 взрывов/год, что более чем в 2 раза больше по сравнению с периодом от 1961 по 1971 год. Это, безусловно, вело к увеличению числа КМ на орбите. Все это может представлять гипотетическую угрозу для орбитальных сооружений в ближайшем будущем, и любая космическая миссия связана с немалым риском.

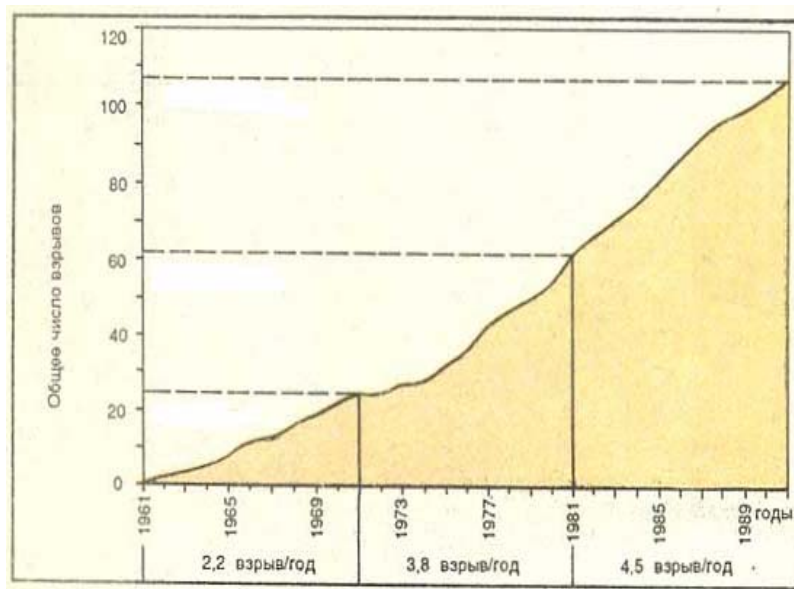


Рис. 2. Рост числа взрывов КА

Случайные или преднамеренные столкновения орбитальных объектов уже становятся обычными явлениями в космическом пространстве. Так, в марте 2006 года произошла авария спутника «Экспресс АМ-11», в результате чего произошла разгерметизация жидкостного контура системы терморегулирования. Вследствие этого КА получил резкий динамический импульс, потерял ориентацию в пространстве и начал неконтролируемое вращение. Другой случай – в январе 2007 года китайская ракета уничтожила отработавший свой срок китайский спутник «Феньюнь», столкнувшись с ним встречным курсом, в результате чего засорение космоса сразу увеличилось на 22 %.

Не следует также забывать того, что сложившаяся подобным образом ситуация может негативно проявляться и в наземных условиях. Некоторые фрагменты и объекты со временем, в зависимости от высоты их орбиты и массы, входят в плотные слои атмосферы и в подавляющем большинстве сгорают, но только лишь небольшая часть достигает поверхности Земли. Как раз об этом и свидетельствуют фотографии, запечатлевшие эти неутешительные случаи (рис. 3, 4).



**Рис. 3. Фрагмент кислородного бака третьей ступени ракеты «Ариан», вошедшей в плотные слои атмосферы над территорией Бразилии в августе 2006 года**



**Рис. 4. Обшивка третьей ступени РН «Дельта», упавшая 12 января 2001 года на территории Саудовской Аравии**

На данный момент актуальность проблемы засорения космического пространства признана многими международными организациями. На протяжении последних лет эта проблема в первоочередном порядке обсуждается на ежегодных сессиях Комитета ООН по использованию космического пространства в мирных целях и его подкомитетов – научно-технического и юридического (Микиша, 2001).

Анализ последних публикаций показал, что исследования в области детального изучения, слежения и моделирования поведения КМ в космическом пространстве неоднократно проводились различными национальными исследовательскими институтами, космическими агентствами и международными организациями, которые дают самые разнообразные и дельные советы по решению данной проблемы.

Так, специалистами Института динамики быстрых процессов им. Э. Маха во Фрайбурге было предложено использование специальных экранных конструкций. Один из таких экранов уже изготовлен по заказу Европейского космического агентства для научно-исследовательского лабораторного модуля «Колумбус». Такой экран способен задерживать частицы КМ с линейными размерами до 2 см и скоростями до 7 км/с. Он состоит из нескольких слоёв: снаружи – листовой алюминий, под ним – керамические и полиамидные волокна. Конечно, более толстый экран смог бы задерживать и более крупные частицы, но ведь он должен удовлетворять двум условиям. Во-первых, стоимость его доставки в космос не должна выходить за разумные рамки. Во-вторых, экран не должен быть слишком тяжёлым, иначе запустить весь модуль на орбиту будет невозможно технически.

Ещё одним актуальным вопросом является выработка согласованной политики в отношении ступеней РН и прекративших функционирование КА, находящихся в геостационарной области. Проведенные исследования показали, что для предотвращения возможных столкновений в этой области необходимо проводить увод отработавших КА и КРБ на орбиты, находящихся выше или ниже геостационарной. Однако конкретные параметры такой орбиты захоронения должны определяться с учетом их долгосрочной (на период до 100 лет и более) эволюции с тем, чтобы в обозримом будущем «мертвый» объект снова не попал в область, где находятся функционирующие спутники. Кроме того, нужно учитывать, что при перемещении геостационарных спутников из одной точки стояния в другую аппараты временно переводятся на орбиту дрейфа. Таким образом, орбита захоронения должна лежать вне пределов «коридора», в котором находятся различные орбиты дрейфа. В настоящее время та или иная политика в отношении отработавших КА и ступеней уже принята рядом организаций, осуществляющих космическую деятельность.

С недавних пор начали проводиться так называемые мероприятия по пассивации ступеней РН и КРБ. Суть их заключается в том, что после отделения полезного груза ступень осуществляет ещё одно включение до выгорания одного из жидких компонентов топлива либо стравливает их все остатки. И хотя подобные мероприятия проводились и ранее, но теперь они являются не просто «правилом хорошего тона» при осуществлении космической деятельности, а действенным средством для предотвращения образования множества обломков, угрожающих функционирующим КА независимо от их государственной принадлежности (Hertz et al., 1993; Агапов, 2000; Микиша, 2001).

Кроме всего прочего, Службами контроля космического пространства проводится работа по наблюдению за космическими объектами, используя при этом радиолокационные, оптико-электронные и радиотехнические средства. Такая система контроля обеспечивает информацией правительственные и иные учреждения, что позволяет этой системе активно развиваться и совершенствоваться, оснащаться большими оптическими телескопами. К примеру, комплекс наблюдения за космосом на о. Мауи (Гавайи) имеет телескопы, диаметры зеркал которых составляют 1,2 и 1,6 м. В 2000 г. началась эксплуатация модернизированной станции американской системы слежения за космосом в контейнерном исполнении, которую можно было развернуть в нужном месте (Микиша, 2001). Другой пример – совсем недавно в Японии установлен первый в мире радар, призванный следить за перемещением КМ. Такой радар расположен на вершине одной из гор в провинции Окаяма. Радар способен одновре-

менно отслеживать движение до 10 объектов, расположенных в 600 км от Земли. Дистанционное управление прибором будет осуществляться из Космического центра в г. Тсукуба.

Однако все эти меры по предотвращению накопления КМ являются неполными, поскольку защиты от столкновения с объектами размером 2–20 см, которые представляют наибольшую опасность для функционирующих КА, пока не существует.

Цель настоящей работы заключается в обосновании применения ракетно-космических аппаратов с целью борьбы с крупным и мелким КМ, а также предлагается несколько систем для сбора КМ на различных орбитах и некоторые общие блок-схемы утилизации и переработки КМ в наземных условиях.

Конструкция КА, материалы, из которых он сделан, топливо, срок службы КА, его оборудование – это те условия, которые должны соблюдаться для последующего предотвращения засорения космического пространства в дальнейшем.

Для этого необходима разработка специального КА, оснащенного транспортной системой для сбора и удаления КМ с использованием регулируемых ракетных двигателей. В основу проекта положены наработки в вопросах исследования и разработки электрических ракетных двигателей и двигателей на пастообразном топливе, которые были проведены в НИИ энергетики ДНУ им. О. Гончара.

Для работы по сбору КМ предлагается использовать орбитальный самолет типа «Шаттл» или «Буран». Для этого он должен быть оборудован подъемным устройством с наматывающимся на него тросом из сверхпрочного материала – кварцевой или кевларовой нити, а также системой захвата объекта.

Использование троса в космонавтике – дело не новое и вполне реальное. Трос начали использовать с 60-х гг. XX ст. Так, в 1966 г. корабли НАСА «Джемини-11» и «Джемини-12» связывались тросами длиной 30 м со специальной ступенью «Аджена».

В нашем случае орбитальный самолет оборудуется тросом, который может быть оборудован по нескольким вариантам:

- 1) на конце троса – многослойный сетчатый бампер для сбора мелкого КМ;
- 2) на тросе укреплен «космическая сеть-ловушка», сделанная из тех же сверхпрочных волокон, которая разворачивается и по мере накопления в ней мусора может быть свернута;
- 3) на тросе крепится длинная штанга с малым захватом для сбора самого мелкого КМ.

Весь отловленный мусор поступает в грузовой отсек «Бурана» (Bondarenko, Shifrin, 1993).

Многослойный сетчатый бампер (рис. 5), используемый по первому варианту, представляет собой контейнер, изготовленный из сверхпрочной кевларовой нити. Ее слои расположены так, что волокна второго слоя предполагают толщину нити в два раза меньше толщины волокон 1-го слоя, 3-го слоя – в 4 раза меньше и т.д. Такое строение сетки позволяет задерживать КМ между ее слоями, или, погасив часть начальной скорости с помощью сетчатого бампера, задерживаться металлической пластиной, находящейся позади последнего (Hortz et al., 1993).

Кроме того, нами предлагается проект космического ремонтного модуля с использованием ракетных двигателей на химическом топливе (рис. 6).

Такой аппарат может эксплуатироваться для сбора КМ как для «подтягивания» спутников на более высокие орбиты или возвращение его на Землю с целью утилизации фрагментов КМ, так и для ремонта КА автоматическим робототехническим комплексом прямо на орбите в случае, если случилась некоторая незначительная поломка. Предусмотрена также транспортировка неисправного КА к орбитальной пилотируемой ремонтной базе с последующим возвращением на рабочую орбиту, что будет стоить значительно дешевле, чем построить и запустить новый спутник. В случае невозможности осуществления ремонта КА его и другой КМ транспортируют в специальные зоны космоса (это могут быть «точки либрации» – точки в космическом пространстве, в которых силы притяжения уравновешены) для сохранения и последующего использования или переработки.

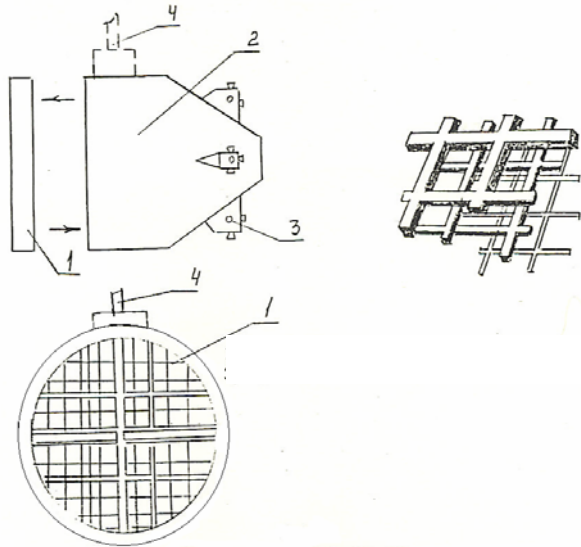


Рис. 5. Многослойный сетчатый бампер:

1 – сетчатый бампер; 2 – контейнер для сбора КМ; 3 – двигатели коррекции; 4 – тросовая подвеска

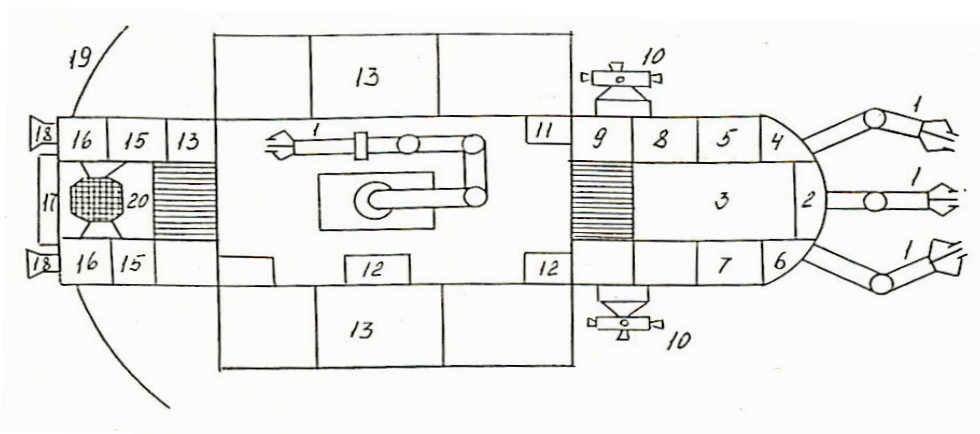


Рис. 6. Ремонтный космический модуль:

1 – манипулятор; 2, 3 – отсеки управления; 4, 5 – ремонтный персонал; 6, 7 – жилой отсек; 8, 9 – баки с горючим и окислителем; 10 – маневровые двигатели; 11 – цех запасных частей; 12 – системы захвата КМ; 13 – створки грузового отсека; 14 – рабочее тело; 15 – аккумуляторная; 16 – турбогенератор; 17 – стыковочный узел; 18 – маршевый двигатель; 19 – концентратор солнечной энергии; 20 – приемник СВЧ и лазерного лучей

Для выполнения подобных операций ремонтный модуль оборудован четырьмя внешними манипуляторами 1, которые служат для внешнего захвата КА и фрагментов КМ, и внутренними захватами – для внутренних работ (размещение, перемещение и т.д. в грузовом отсеке).

Хочется подчеркнуть, что КМ с точки зрения материаловедения – это:

- цветные и благородные металлы;
- дорогостоящие приборы;
- оптика;
- кристаллы и т.д.

Их не хотелось бы совсем терять, а ведь нынешняя ракетно-космическая техника – это в основном одноразовые РН и недолго работающие КА. Можно предложить следующую блок-схему переработки КМ, происходящую в наземных условиях (рис. 7). Таким образом, утилизация будет проходить путем разборки КМ с разделением на ценные материалы: драгоценные металлы, металлоизделия и особо ценные функциональные элементы. В итоге мы будем получать изделия, готовые к употреблению в ракетно-космической технике, а также сырье для последующей переработки по нашей технологии.

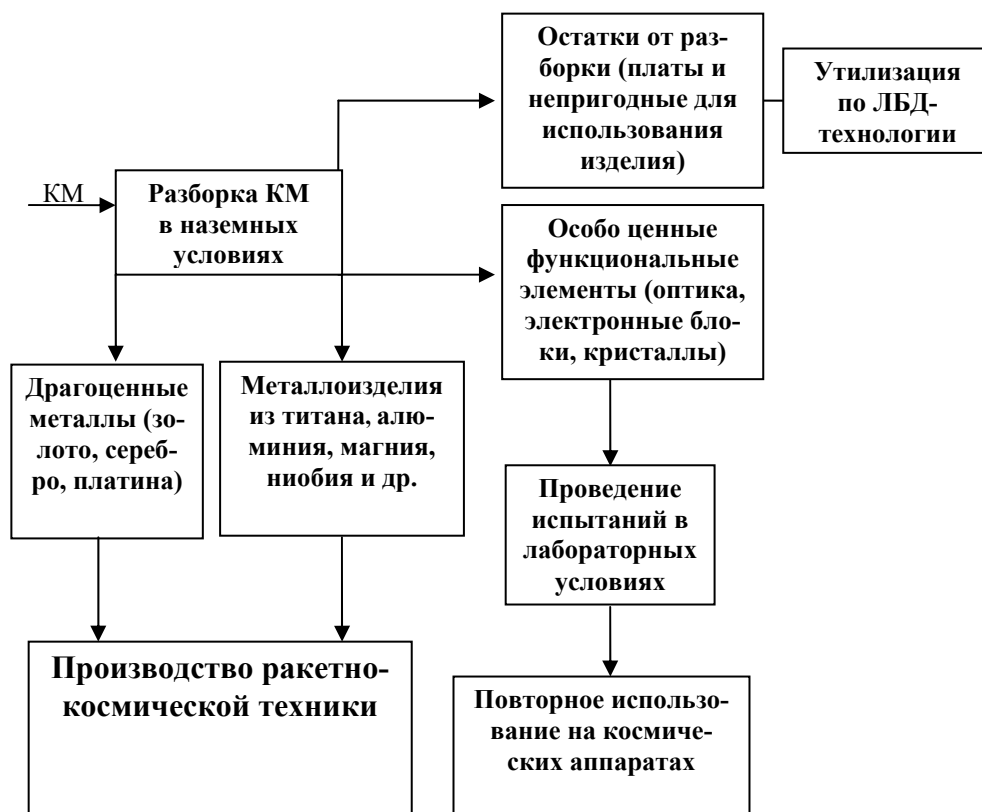


Рис. 7. Блок-схема утилизации КМ

Давайте подробнее рассмотрим процесс переработки по ЛБД-технологии (блок-схема представлена на рис. 8).

В данной статье рассматривается совершенно новый и нетрадиционный способ борьбы с крупно- и среднегабаритным КМ – сбор и переработка КМ по ЛБД-технологии. Упомянутая технология разрабатывалась для мусороперерабатывающего комплекса по утилизации твердых бытовых отходов, но может перерабатывать и КМ в качестве дополнительного сырья.

Данная система утилизации отвечает четырём, на наш взгляд, базовым принципам:

- не имеет практически никаких вредных выбросов в окружающую среду;
- полностью самокупаемая;
- не требует энергии и энергоносителей извне;
- практически полностью поддаётся автоматизации.

На сегодняшний день наша технология прошла первый этап работ – концептуальная разработка, по результатам которой подано и готовятся к подаче ряд заявок на патенты, а также готовятся рецензии от академических структур различного профиля.

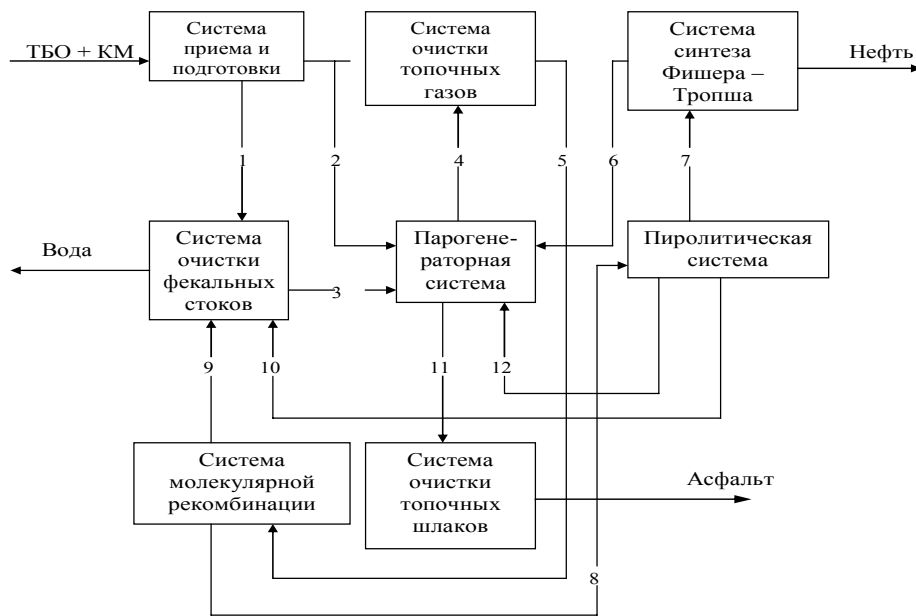


Рис. 8. Блок-схема ЛБД- технологии:

- |   |   |
|---|---|
| 1 – поток удаленной из ТБО воды;              | 7 –поток синтез-газа;   |
| 2 – поток сухих дробленых ТБО;                | 8 – поток биомассы;   |
| 3 – поток газообразной субстанции;            | 9 – поток дистиллированной воды;  |
| 4 – поток топочных газов;                     | 10 – поток пиролизной воды;   |
| 5 – поток «грязной» воды;                     | 11 – поток жидкого топочного шлака;   |
| 6 – поток углекислого газа с частицами нефти; | 12 – поток жидких окисленных углеводородов и негазифицировавшегося твердого остатка |

## ВЫВОДЫ

- Предложено использование орбитального самолета типа «Буран», оборудованного подъемным устройством с наматывающимся на него тросом, а также системой захвата объекта.
- Приведено устройство многослойного сетчатого бампера для сбора мелкого КМ.
- Приведена схема работы космического ремонтного модуля для сбора, ремонта или транспортировки крупногабаритного КМ.
- Предложено две блок-схемы для утилизации и переработки КМ в наземных условиях.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Судя по всему, рано или поздно ближние и дальние окрестности нашей Вселенной постепенно превратятся в огромную свалку. Конечно, если сравнивать с земными свалками, то КМ ничтожно мало (его масса на низких околоземных орбитах составляет всего около 5 тысяч тонн), но и он представляет нешуточную угрозу для человечества. И угроза эта с каждым годом растет. При таком уровне технологий, который уже сейчас достигнут, к 2020 г. запуск КА уже будет невозможен. Поэтому в перспективе предполагается (Микиша, 2001):

- совершенствование методики моделирования мелких фрагментов КМ на основе специальных экспериментов;
- проведение наблюдений за КМ, уделяя особое внимание исследованию взорвавшихся объектов;
- усовершенствование и доработка существующих систем по сбору КМ.



В итоге следует подчеркнуть, что одним из последствий воздействия аэрокосмической деятельности человека на экологию Земли является возникшая в последние десятилетия проблема КМ, которая серьезно угрожает безопасности орбитальных космических аппаратов, платформ и жизни астронавтов, летающих на космических кораблях и совершающих выходы в открытый космос.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

**Агапов В.** Проблема космического мусора приобретает все большее значение / В. Агапов // Новости космонавтики. – 2000. – № 1. – С. 45.

**Микиша А. М.** Загрязнение космоса / А. М. Микиша, Л. В. Рыхлова, М. А. Смирнов // Вестник Российской академии наук. – 2001. – Т. 71, № 1. – С. 26-31.

**Рыхлова Л. В.** Проблемы космического мусора / Л. В. Рыхлова // Земля и Вселенная. – 1993. – № 6.

**Bondarenko S. G., Shifrin G. A.** A project of systems for disposal of space debris from the Near-Earth space // Proceedings of the 44-th Congress of the International astronomical federation, Graz, Austria, October 16–22, 1993.

**Hertz F., Cintata M. S., Bernhard R. P. and See T. H.** Lightweight bumpers employing multiple meshes // Proceedings of the 1-st European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, April 5–7, 1993.

*Надійшла до редколегії 01.07.09*