

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037965**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.06.16

(51) Int. Cl. **B64G 1/00** (2006.01)

(21) Номер заявки
201792001

(22) Дата подачи заявки
2017.10.09

(54) **СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПОДЪЕМА МНОЖЕСТВА
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

(31) **15/366,548**

(56) **WO-A1-2015162370**

(32) **2016.12.01**

US-A-5979830

(33) **US**

US-A-5810297

(43) **2018.10.31**

RU-C1-2111901

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЗЕ БОИНГ КОМПАНИ (US)

(72) Изобретатель:
**Сильва Элвис, Мартинез-Лавин
Мануэль (US)**

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) Описаны способы и системы развертывания группировки космических аппаратов. Пример способа включает выпуск кластера космических аппаратов из средства выведения на первой орбите, отделение космических аппаратов друг от друга в кластере космических аппаратов, с тем чтобы свести к минимуму перекрытие периодов видимости с наземной станции, и подъем каждого из отделившихся космических аппаратов одновременно с синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту. Пример системы включает в себя кластер космических аппаратов, двигающихся по первой орбите, и наземную станцию, имеющую связь с космическими аппаратами кластера космических аппаратов, когда космические аппараты кластера видимы для наземной станции. Наземная станция выдает команды на каждый космический аппарат на их отделение друг от друга и, по отделении, на одновременный подъем по высоте с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту.

037965**B1****037965****B1**

Область техники и уровень техники

Настоящее изобретение относится в целом к системе для развертывания группировки космических аппаратов, а в частности к процессу отделения друг от друга космических аппаратов, развертываемых из одного средства выведения таким образом, что во время маневров вывода на орбиту время, в течение которого каждый космический аппарат находится в поле зрения конкретной наземной станции, имеет приблизительно минимальное перекрытие с временем, в течение которого другие космические аппараты, развертываемые из того же средства выведения, находятся в поле зрения той же наземной станции. Для многих применений требуется группировка космических аппаратов. Традиционно развертывание на отдельных орбитах группировок космических аппаратов, таких как группы спутников, требует многочисленных запусков, затраты на которые могут быть существенными. В качестве альтернативы, если при одновременном запуске многих космических аппаратов, образующих группировку, из одного средства выведения, близость космических аппаратов в группировке может увеличить потребность в одной или более наземных станциях. Однако для снижения сложности системы и затрат на ее разработку необходимо минимизировать количество и сложность наземных объектов и наземного вспомогательного оборудования.

Таким образом, для решения проблем, возникающих в связи с развертыванием группировки, необходима стратегия упрощения поддержки наземными станциями.

Сущность изобретения

В одном примере описан способ развертывания группировки космических аппаратов. Способ включает выпуск кластера космических аппаратов из средства выведения на первой орбите, отделение космических аппаратов друг от друга в кластере космических аппаратов, с тем чтобы свести к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станцией, и одновременный подъем каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту.

Еще в одном примере описан некратковременный компьютерочитаемый носитель для хранения, имеющий сохраненные на нем инструкции, которые при их исполнении системой, имеющей один или более процессоров, побуждают систему реализовывать функции. Указанные функции включают побуждение космических аппаратов в кластере космических аппаратов, выпущенных на первой орбите, отделиться друг от друга, с тем чтобы свести к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станцией, и побуждение каждого из отделившихся космических аппаратов совершить одновременный подъем с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту.

Еще в одном примере описана система для развертывания группировки космических аппаратов. Система содержит кластер космических аппаратов, двигающихся по первой орбите, и наземную станцию, имеющую связь с космическими аппаратами кластера космических аппаратов, когда космические аппараты кластера видимы для наземной станции. Наземная станция выполнена с возможностью отправки на каждый космический аппарат в кластере космических аппаратов первой команды, предписывающей такое их отделение друг от друга, при котором фазирование каждого космического аппарата относительно других космических аппаратов сводит к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станцией, а после разделения космических аппаратов наземная станция выполнена с возможностью отправки на каждый из космических аппаратов второй команды, предписывающей по отделении их одновременный подъем с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту.

Раскрытые признаки, функции и преимущества могут быть обеспечены независимо в различных примерах или могут быть объединены в других примерах, дополнительная информация о которых может стать понятной со ссылкой на последующее описание и чертежи.

Краткое описание чертежей

Признаки иллюстративных примеров, обеспечивающие новизну по сравнению с уровнем техники, изложены в прилагаемой формуле изобретения. При этом иллюстративные примеры, а также предпочтительный режим использования, дополнительные цели и их описание будут лучше поняты со ссылкой на последующее подробное описание иллюстративного примера раскрытия настоящего изобретения при рассмотрении вместе с сопровождающими чертежами, на которых:

на фиг. 1 показана иллюстрация системы для развертывания группировки космических аппаратов, согласно примеру;

на фиг. 2 приведена схема, условно показывающая движение по орбите космических аппаратов и дугу видимости (участок орбиты) для наземной станции, согласно примеру;

на фиг. 3 показан график зависимости приведенной в качестве примера длины дуги видимости от высоты относительно экваториальной наземной станции;

на фиг. 4 приведена схема, условно показывающая развертывание кластера космических аппаратов, согласно примеру;

на фиг. 5 приведена схема, условно показывающая движение по орбите кластера космических аппаратов, согласно примеру;

на фиг. 6 приведена схема, условно показывающая еще одно движение по орбите кластера космических аппаратов, согласно примеру;

на фиг. 7 приведена схема, условно показывающая еще одно движение по орбите кластера космических аппаратов, согласно примеру;

ских аппаратов, согласно примеру;

на фиг. 8 приведена схема, условно показывающая еще одно движение по орбите кластера космических аппаратов, согласно примеру;

на фиг. 9 приведена схема, условно показывающая еще одно движение по орбите кластера космических аппаратов, согласно примеру;

на фиг. 10 приведена таблица, показывающая все космические аппараты, совершающие подъем на большую высоту, согласно примеру;

на фиг. 11 приведена схема, условно показывающая движение по орбите космических аппаратов, согласно примеру;

на фиг. 12 приведена схема, условно показывающая профиль видимости космических аппаратов с наземной станции, согласно примеру;

на фиг. 13 приведена схема, условно показывающая еще один профиль видимости космических аппаратов в случае использования двух наземных станций, разнесенных на 180°, согласно примеру.

на фиг. 14 показана структурная схема приведенного в качестве примера способа развертывания группировки космических аппаратов;

на фиг. 15 показана структурная схема приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 14;

на фиг. 16 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 14;

на фиг. 17 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 14;

на фиг. 18 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 14;

на фиг. 19 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 14;

на фиг. 20 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 14;

на фиг. 21 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 14;

на фиг. 22 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 14;

на фиг. 23 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 14;

на фиг. 24 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа развертывания группировки космических аппаратов;

на фиг. 25 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 24;

на фиг. 26 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 24;

на фиг. 27 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом по фиг. 24.

Осуществление изобретения

Раскрытые примеры будут теперь более подробно описаны ниже со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых показаны некоторые, но не все раскрытые примеры. Действительно, могут быть описаны несколько различных примеров, которые не должны рассматриваться как ограниченные примерами, изложенными в настоящем документе. Наоборот, эти примеры описаны таким образом, что данное раскрытие изобретения будет исчерпывающим и завершенным и будет полностью представлять объем изобретения специалистами в данной области техники.

В примерах, описанных в настоящем документе, описана стратегия распределенного вывода на орбиту множества космических аппаратов с малой тягой, характеризующаяся относительным фазированием каждого космического аппарата, участвующего в выводе кластера на орбиту, и окончательного фазирования каждого космического аппарата в группировке, а также ограничения для наземной станции, связанные с выполняемой полетной программой. После разделения развертывания кластера космических аппаратов из средства выведения описан способ относительного пространственного разделения одного космического аппарата от другого космического аппарата, с тем чтобы создать орбитальную фазу между космическими аппаратами на некоторой промежуточной орбите. После фазирования космических аппаратов на промежуточной орбите группировка одновременно выводится на орбиту с сохранением своего относительного фазирования.

Эта стратегия минимизирует сложность наземного вспомогательного оборудования и сложность инициирования группировки, например, потребность в поддержке с наземных объектов. Эта стратегия обеспечивает подъем на орбиту таким образом, что обеспечена возможность планирования контактов с Землей в синхронизированном режиме предсказуемым образом, а также фазирование космических аппа-

ратов перед выводом на конечную орбиту. Некоторые решения обеспечивают вывод на орбиту космических аппаратов без учета влияния наземных станций, при этом примеры, описанные в настоящем документе, включают распределенный и фазированный вывод космических аппаратов на орбиту для сведения к минимуму средств наземной поддержки.

В некоторых примерах выполняют выпуск и предварительное разделение кластера космических аппаратов на более низкой орбите, а затем выдают команду всем космическим аппаратам в кластере на одновременное перемещение на более высокую орбиту, при этом каждый спутник занимает конечную орбиту, отличающуюся от конечных орбит других спутников в группировке, и получает окончательное конечное фазирование. Это также обеспечивает возможность совместного запуска множества космических аппаратов, содержащих группировку, и эффективной работы на орбите с уменьшением, таким образом, общих затрат на полет.

На фиг. 1 показана система 100 для развертывания группировки космических аппаратов, согласно примеру. Система 100 включает в себя кластер 102 космических аппаратов 104, 106, 108 и 110, двигающихся по первой орбите. Система 100 также включает в себя наземную станцию 114, имеющую связь с космическими аппаратами кластера 102 космических аппаратов, когда космические аппараты 104, 106, 108 и 110 видимы для наземной станции 114.

На чертеже показано, что кластер 102 космических аппаратов включает в себя четыре космических аппарата. Однако в других примерах кластер 102 может включать в себя больше или меньше космических аппаратов или может включать в себя, например, от двух до приблизительно двенадцати или шестнадцати космических аппаратов. На чертеже показано, что космические аппараты 104, 106, 108 и 110 являются спутниками. Однако в других примерах космические аппараты 104, 106, 108 и 110 могут включать в себя другие транспортные средства для решения конкретных орбитальных задач, и космические аппараты 104, 106, 108 и 110 могут включать в себя различные комбинации космических аппаратов, также в зависимости от конкретной задачи.

Космические аппараты 104, 106, 108 и 110 могут быть выполнены с возможностью вращения вокруг Земли (или другого небесного тела) на соответствующих орбитах. В некоторых примерах орбиты космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 могут иметь некоторый угол наклона относительно плоскости орбиты, на которой лежит целевая орбита.

Наземная станция 114 включает в себя один или более процессоров 116, интерфейс 118 связи, хранилище 120 данных, интерфейс 122 вывода, дисплей 124 и интерфейс 126 пользователя, каждый из которых подключен к шине 128 связи. Интерфейс 126 пользователя наземной станции также может включать аппаратное обеспечение для обеспечения связи внутри наземной станции 114 и между наземной станцией 114 и другими устройствами (не показано). Например, аппаратные средства могут включать в себя передатчики, приемники и антенны.

Интерфейс 118 связи может быть беспроводным интерфейсом и/или одним или более проводными интерфейсами, которые обеспечивают связь как на короткие, так и на большие расстояния с одной или более сетями или с одним или более удаленными устройствами. Такие беспроводные интерфейсы могут обеспечивать связь по одному или более протоколам беспроводной связи, таким как Bluetooth, WiFi (например, протокол 802.11 стандарта Института инженеров по электротехнике и электронным инженерам (IEEE)), стандарт LTE, сотовая связь, спутниковая связь и/или другие протоколы беспроводной связи. Такие проводные интерфейсы могут включать в себя интерфейс Ethernet, интерфейс универсальной последовательной шины (USB) или аналогичный интерфейс для связи через провод, витую пару проводов, коаксиальный кабель, оптическую линию, волоконно-оптическую линию или другое физическое соединение с проводной сетью. Таким образом, интерфейс 118 связи может быть выполнен с возможностью приема входных данных от одного или более устройств, а также может быть выполнен с возможностью отправки выходных данных на другие устройства.

В качестве примера, интерфейс 118 связи обеспечивает для наземной станции 114 возможность беспроводной связи с космическими аппаратами 104, 106, 108 и 110 кластера 102 через линии беспроводной связи, такие как линии 130, 132 и 134 беспроводной связи.

Хранилище 120 данных может включать в себя или быть выполненным в виде одного или более компьютерочитаемых носителей для хранения, которые могут быть считаны процессором (процессорами) 116 или доступ к которым может быть осуществлен процессором (процессорами) 116. Компьютерочитаемые носители для хранения могут включать в себя энергозависимые и/или энергонезависимые запоминающие компоненты, такие как оптическая, магнитная, органическая память или другое запоминающее устройство или дисковое хранилище, которые могут быть встроены полностью или частично в процессор (процессоры) 116. Хранилище 120 данных считается некрatkовременным компьютерочитаемым носителем. В некоторых примерах хранилище 120 данных может быть реализовано с использованием одного физического устройства (например, одного оптического, магнитного, органического или другого запоминающего устройства или блока диска для хранения), а в других примерах хранилище 120 данных может быть реализовано с использованием двух или более физических устройств.

Хранилище 120 данных, таким образом, представляет собой некрatkовременный компьютерочитаемый носитель для хранения, на котором сохранены исполняемые инструкции 136. Исполняемые ин-

струкции 136 включают в себя исполняемый компьютером код. Когда процессор (процессоры) 116 исполняет (исполняют) исполняемые инструкции 136, процессор (процессоры) 116 побуждают реализовывать функции. Такие функции описаны ниже.

Процессор (процессоры) 116 может (могут) представлять собой процессор общего назначения или процессор специального назначения (например, цифровые сигнальные процессоры, специализированные интегральные схемы и т.п.). Процессор (процессоры) 116 может (могут) принимать входные данные от интерфейса 118 связи и обрабатывать их с выработкой выходных данных, которые сохраняют в хранилище 120 данных и выводят на дисплей 124. Процессор (процессоры) 116 может (могут) быть выполнен(ы) с возможностью исполнения исполняемых инструкций 136 (например, компьютерочитаемых программных инструкций), которые сохраняют в хранилище 120 данных и которые выполнены с возможностью исполнения для обеспечения функциональности наземной станции 114, описанной в настоящем документе.

Интерфейс 122 вывода выдает информацию на дисплей 124 или на другие компоненты. Таким образом, интерфейс 122 вывода может быть сходным с интерфейсом 118 связи и может быть беспроводным интерфейсом (например, передатчиком) или проводным интерфейсом.

Наземная станция 114 может представлять собой или включать в себя вычислительное устройство различных видов и может быть частью, например, ряда различных вычислительных устройств или серверов. Кроме того, в некоторых примерах компоненты наземной станции 114 могут быть отделены от наземной станции 114, например дисплей 124 выполнен в виде отдельного компонента.

В некоторых примерах процессор (процессоры) 116 наземной станции 114 может (могут) выполнять исполняемые инструкции 136, хранящиеся в хранилище 120 данных, для реализации функций отправки на каждый космический аппарат 104, 106, 108 и 110 в кластере 102 первой команды, предписывающей такое их отделение друг от друга, чтобы свести к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станции (например, относительное фазирование каждого космического аппарата 104, 106, 108 и 110 друг относительно друга может быть приблизительно равномерным, если смотреть с наземной станции 114). В некоторых примерах наземная станция 114 выполнена с возможностью отправки первой команды, предписывающей космическим аппаратам 104, 106, 108 и 110 в кластере 102 увеличить или уменьшить высоту последовательным образом, и когда соответствующий космический аппарат изменяет высоту, он перемещается по второй орбите, что вызывает дрейф, приводящий к его относительному фазированию относительно других космических аппаратов в кластере 102.

Затем процессор (процессоры) 116 наземной станции 114 может (могут) исполнить исполняемые инструкции 136, сохраненные в хранилище 120 данных, для реализации функций отправки на каждый из космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 второй команды, предписывающей по отделении их одновременный подъем с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту. Например, наземная станция 114 выполнена с возможностью отправки второй команды, предписывающей каждому из космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 выполнить маневр для его вывода на соответствующую конечную орбиту и указывающей, когда начать этот маневр, чтобы обеспечить синхронный вывод на орбиту и сохранить фазирование каждого космического аппарата относительно друг друга.

На фиг. 2 приведена схема, условно показывающая движение по орбите космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 и дугу 144 видимости для наземной станции 114, согласно примеру. Космические аппараты 104, 106, 108 и 110 будут выводиться на орбиту по первой орбите 140 относительно Земли, и после разделения и вывода на орбиту космические аппараты 104, 106, 108 и 110 будут занимать конечную орбиту 142 относительно Земли.

Наземная станция 114 расположена на поверхности Земли и может осуществлять связь с космическими аппаратами, двигающимися по орбите, только когда космические аппараты находятся в пределах дуги 144 видимости. Дуга 144 видимости соответствует линии видимости от наземной станции 114 до космических аппаратов, находящихся над горизонтом наземной станции 114. Таким образом, наземная станция 114 может связываться с космическими аппаратами только во время нахождения на участке орбиты, и более высокая орбита обеспечивает больше времени, в течение которого наземная станция 114 может связываться с космическими аппаратами. На чертеже показано, что дуга 144 видимости находится между дугами 146 и 148 видимости, которые являются частями первой и конечной орбит, соответственно.

На фиг. 3 показан график зависимости приведенной в качестве примера длины дуги видимости от высоты относительно экваториальной наземной станции. Как показано на чертеже, по мере увеличения высоты круговой экваториальной орбиты также увеличивается длина дуги видимости. Таким образом, как было упомянуто, более высокая орбита обеспечивает больше времени, в течение которого наземная станция 114 может связываться с космическими аппаратами.

Наземная станция 114 может иметь возможность осуществлять одновременную связь только с одним космическим аппаратом. Связь между наземной станцией 114 и космическим аппаратом включает в себя связь как по восходящей линии связи, так и по нисходящей линии связи для того, чтобы получать телеметрическую информацию (например, информацию, указывающую данные, собранные космическим аппаратом) и выполнять дальнометрию (например, измерять расстояния для измерения орбиты), а также отправлять команды на космические аппараты (например, выдавать инструкции для работы нагревате-

лей, включать функции и процессы, отправлять инструкции для исполнения маневров и т.п.). Поскольку наземная станция 114 связывается с космическими аппаратами по прямому каналу беспроводной связи прямой видимости, если весь кластер 102 космических аппаратов одновременно находится в пределах дуги 144 видимости, наземная станция 114 может быть не в состоянии связываться с каждым из них в течение периода орбиты, во время которого кластер 102 находится на дуге 144 видимости, так как наземная станция 114 связывается только с одним космическим аппаратом в одно время.

На фиг. 4 приведена схема, условно показывающая развертывание кластера 102 космических аппаратов, согласно примеру. В этом примере представлены четыре космических аппарата 104, 106, 108 и 110. Кластер 102 выпускают из средства 150 выведения на первой орбите 140. Используется одно средство 150 выведения, которое может быть выполнено в самых разных формах, включая, например, космический аппарат или ракетный корабль.

Кластер 102 развертывают на первой орбите (например, которая может быть круговой), и кластер 102 перемещается одновременно согласованно вокруг Земли по первой орбите 140. Фазирование или интервал каждого космического аппарата относительно друг друга составляет приблизительно 0° , если смотреть с земли, поскольку все космические аппараты находятся на одной общей первой орбите 140 (в пределах допуска на расстоянии друг от друга, чтобы избежать столкновений). Космические аппараты могут находиться не на одной и той же орбите, а очень близко к одной и той же орбите, с тем чтобы при движении по орбите перемещаться и попадать в область обзора наземной станции 114 и выходить из нее по существу в одно и то же время.

Под выражением "по существу" подразумевается, что точного получения указанной характеристики, указанного параметра или значения не требуется и что могут иметь место отклонения или изменения, включая, например, допуски, погрешность измерения, ограничения точности измерения и другие явления, известные специалистам в данной области техники, величина которых не исключает получения технического результата, для обеспечения которого эта характеристика предназначена.

На фиг. 5 приведена схема, условно показывающая движение по орбите кластера 102 космических аппаратов, согласно примеру. Поскольку все космические аппараты находятся в кластере 102 вместе, все космические аппараты одновременно находятся в поле зрения наземной станции 114 в одно и то же время, когда они находятся в пределах дуги 144 видимости. Например, все космические аппараты попадают в область обзора наземной станции 114 (как показано стрелкой 152, при этом кластер попадает в дугу 144 видимости) примерно в одно и то же время и затем выходят из области обзора наземной станции 114 (как показано стрелкой 154, при этом кластер покидает дугу 144 видимости) по истечении некоторого периода времени. Этот период времени может быть недостаточно продолжительным, чтобы каждый космический аппарат мог иметь достаточное время для связи с наземной станцией 114.

В альтернативном варианте реализации эффективность может быть достигнута за счет использования одной наземной станции, когда интервал между космическими аппаратами кластера 102 рассчитан таким образом, что космические аппараты попадают в поле зрения наземной станции 114 в разное время, и поэтому наземная станция 114 может осуществлять связь с каждым космическим аппаратом по отдельности в течение более длительного периода времени. Таким образом, космические аппараты могут быть отделены друг от друга, так что фазирование каждого космического аппарата относительно других космических аппаратов является приблизительно равномерным, если смотреть с наземной станции 114, с тем чтобы свести к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станции 114, например. Разделение или фазирование космических аппаратов может обеспечивать для наземной станции 114 возможность связи с каждым из них по отдельности, поскольку каждый из них может быть разнесен от другого, так что приблизительно по большей мере один находится в пределах дуги 144 видимости в любой данный момент времени, например. Или космические аппараты могут быть разделены, так что соответствующий космический аппарат находится на дуге 144 видимости достаточно продолжительный период времени для связи с наземной станцией 114. В примерах, описанных ниже, космические аппараты в кластере 102 отделяют путем увеличения или уменьшения высоты последовательным образом, так что когда соответствующий космический аппарат изменяет высоту, он перемещается по второй орбите, что вызывает дрейф, приводящий к его относительному фазированию относительно других космических аппаратов в кластере 102.

На фиг. 6 приведена схема, условно показывающая еще одно движение по орбите кластера 102 космических аппаратов, согласно примеру. На фиг. 6 космический аппарат в кластере 102 начинает маневр для увеличения или уменьшения размера орбиты (высоты) и, следовательно, развития скорости дрейфа относительно космических аппаратов, остающихся в кластере 102. С течением времени дрейф приводит к фазированию или относительному разделению космических аппаратов, остающихся в кластере 102. Космический аппарат 104 прекращает маневр с работой двигателя, когда получена необходимая скорость дрейфа от кластера 102. В этом примере необходимая скорость дрейфа может приводить к углу фазового разделения приблизительно 90° . Полученная орбита 156 дрейфа космического аппарата 104 вызывает отделение космического аппарата 104 от кластера 102.

На фиг. 6 также приведена таблица, показывающая космический аппарат 104, отделенный от кла-

стера 102 приблизительно на 90° . Это фазовое разделение может быть достигнуто, например, как показано, на орбите 156 дрейфа примерно 1300 км. Посредством увеличения высоты с занятием большей высоты для дрейфа космический аппарат 104 дрейфует по большей орбите вокруг Земли.

На фиг. 7 приведена схема, условно показывающая еще одно движение по орбите кластера 102 космических аппаратов, согласно примеру. На фиг. 7 космический аппарат 104 летит по инерции, когда следующий космический аппарат 106 начинает маневр для увеличения или уменьшения размера орбиты (высоты) и, следовательно, развития скорости дрейфа относительно космических аппаратов, остающихся в кластере 102. С течением времени дрейф приводит к фазированию или относительному разделению космических аппаратов, остающихся в кластере 102. Космический аппарат 106 прекращает маневр с работой двигателя, когда получен необходимый дрейф с перемещением от кластера 102. Космический аппарат 106 будет оставаться отделенным от космического аппарата 104. Величина разделения будет регулироваться величиной времени, прошедшего между началом маневрирования космического аппарата 104 и началом маневрирования космического аппарата 106.

На фиг. 7 также приведена таблица, показывающая космический аппарат 106, отделенный от космического аппарата 104 приблизительно на 90° . Это фазовое разделение может быть достигнуто, например, как показано, на высоте дрейфа приблизительно 1300 км. Посредством увеличения высоты с занятием большей высоты для дрейфа космический аппарат 106 дрейфует по большей орбите вокруг Земли и теперь может находиться на той же орбите, что и космический аппарат 104.

На фиг. 8 приведена схема, условно показывающая еще одно движение по орбите кластера 102 космических аппаратов, согласно примеру. На фиг. 8 космические аппараты 104 и 106 летят по инерции, когда следующий космический аппарат 108 начинает маневр для увеличения или уменьшения размера орбиты (высоты) и, следовательно, развития скорости дрейфа относительно космических аппаратов, остающихся в кластере 102. Космический аппарат 108 прекращает маневр с работой двигателя, когда получен необходимый дрейф с перемещением от кластера 102. Космический аппарат 108 будет оставаться отделенным от космического аппарата 106 и космического аппарата 104. Величина разделения будет регулироваться величиной времени, прошедшего между началом маневрирования космического аппарата 108 и началом маневрирования космического аппарата 106.

На фиг. 8 также приведена таблица, показывающая космический аппарат 108, отделенный приблизительно на 90° . Это фазовое разделение может быть достигнуто, например, как показано, на высоте дрейфа приблизительно 1300 км. Посредством увеличения высоты с занятием большей высоты для дрейфа космический аппарат 108 дрейфует по большей орбите вокруг Земли и теперь может находиться на той же орбите, что и космический аппарат 104, а также космический аппарат 106.

На фиг. 9 приведена схема, условно показывающая еще одно движение по орбите кластера 102 космических аппаратов, согласно примеру. На фиг. 9 космические аппараты 104, 106 и 108 летят по инерции, когда следующий космический аппарат 110 начинает маневр для увеличения или уменьшения размера орбиты (высоты) и, следовательно, уменьшения разности скоростей дрейфа относительно космических аппаратов 104, 106 и 108. Космический аппарат 110 будет оставаться отделенным от космического аппарата 108, космического аппарата 106 и космического аппарата 104. Величина разделения будет регулироваться величиной времени, прошедшего между началом маневрирования космического аппарата 110 и началом маневрирования космического аппарата 108.

На фиг. 9 также приведена таблица, показывающая все космические аппараты 104, 106, 108 и 110, отделенные приблизительно на 90° . Это фазовое разделение может быть достигнуто, например, как показано, на высоте дрейфа приблизительно 1300 км.

Конкретная величина фазового разделения может быть основана на том, сколько космических аппаратов находится в кластере 102, так что после разделения всех космических аппаратов только один космический аппарат виден наземной станцией 114 в любой данный момент времени. В одном примере фаза разделения составляет приблизительно $360/x$, где x - количество космических аппаратов в кластере 102. Таким образом, интервал вокруг Земли может быть равномерным в пределах некоторого допуска, чтобы распределить нагрузку на наземную станцию 114, так что наземная станция 114 может работать больше с каждым космическим аппаратом (и, например, минимизировать время простоя наземной станции 114).

В качестве одного примера с шестнадцатью космическими аппаратами, интервал составляет $360/16$, что позволяет наземной станции 114 за $1/16$ периода обращения на орбите работать с каждым отдельным космическим аппаратом и осуществлять связь с каждым отдельным космическим аппаратом, когда этот космический аппарат виден (например, обеспечивать для наземной станции 114 достаточно времени, необходимого для направления антенн, их конфигурирования, определения дальности, связи и обработки данных, и после этого делать то же самое для следующего космического аппарата и т.д.). Пример сообщений связи, которые передает наземная станция 114, включает в себя оценку работоспособности космических аппаратов, а также выдачу команд на операции, которые космический аппарат должен выполнить.

После разделения каждый из космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 совершает, по отделении, одновременный подъем с их синхронным выводом на свои соответствующие конечные орбиты. Таким

образом, разделение может быть достигнуто посредством последовательного подъема всех космических аппаратов на небольшую величину (например, от 1000 км до 1400 км) для обеспечения фазирования (разделения) на более низкой орбите, а затем одновременный регулируемый по времени вывод на орбиту всех космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 приводит к тому, что космические аппараты 104, 106, 108 и 110 достигают своих конечных орбит с сохранением необходимого разделения. Конечная орбита может находиться значительно выше, например от приблизительно от 2400 км до 45000 км или выше.

На фиг. 10 приведена таблица, показывающая все космические аппараты 104, 106, 108 и 110, совершающие подъем на большую высоту, согласно примеру. Например, по мере того как последний космический аппарат 110 приближается к высоте дрейфа, все космические аппараты 104, 106, 108 и 110 начинают работать своими двигателями с предварительным нагружением для обеспечения одновременного маневрирования и перехода приблизительно с одной и той же начальной орбиты 156 дрейфа с фазовым разделением 90° относительно друг друга. Наземная станция 114 выполнена с возможностью отправки временной команды на каждый из космических аппаратов 104, 106, 108 и 110, когда он виден наземной станцией 114, указывающей, когда выполнить маневр для его вывода на соответствующую конечную орбиту. Наземная станция 114 выдает по отдельности команды на космические аппараты 104, 106, 108 и 110 на отделение и последующий подъем по высоте. Временная команда указывает, когда начать этот маневр (например, время старта), чтобы обеспечить синхронный вывод на орбиту и сохранить фазирование каждого космического аппарата относительно друг друга.

Одновременный подъем каждого из космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 происходит, начиная примерно с одной и той же начальной высоты (например, орбиты 156 дрейфа), которая находится выше или ниже первой орбиты 140, с фазированным разделением каждого из космических аппаратов относительно друг друга, при этом относительное фазирование сохраняется после достижения каждым из космических аппаратов соответствующей конечной орбиты 142.

Конечная орбита 142 может быть одинаковой для всех космических аппаратов 104, 106, 108 и 110, или каждый космический аппарат может иметь отдельную конечную орбиту в зависимости от применимой полетной программы.

На фиг. 11 приведена схема, условно показывающая движение по орбите космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 согласно примеру. Одновременная работа двигателей всех космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 приводит к синхронному выводу на орбиту всех космических аппаратов 104, 106, 108 и 110, разделенных по фазе (например, 90°). Это приводит к необходимому фазированию или разделению на конечной орбите 142. Кроме того, это создает интервал между космическими аппаратами 104, 106, 108 и 110, если смотреть с наземной станции 114, для обеспечения возможности получать управляемый и прогнозируемый временной диапазон видимости на наземной станции 114 по мере подъема группировки космических аппаратов на конечную орбиту 142.

На фиг. 12 приведена схема, условно показывающая профиль видимости космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 с наземной станции 114 согласно примеру. Как показано на фиг. 12, с течением времени каждый космический аппарат входит в область обзора наземной станции 114 и выходит из этой области с закономерностями, обусловленными орбитальным движением космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 и интервалом между ними.

На фиг. 13 приведена схема, условно показывающая еще один профиль видимости космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 в случае использования двух наземных станций, разнесенных на 180° по долготу, согласно примеру. Как показано на фиг. 13, прямоугольники, образованные сплошными линиями, представляют космические аппараты, находящиеся в поле зрения первой наземной станции, а прямоугольники, образованные пунктирными линиями, представляют космические аппараты, находящиеся в поле зрения второй наземной станции. Как и в предыдущем случае, с течением времени каждый космический аппарат входит в область обзора наземной станции 114 и выходит из этой области с закономерностями, обусловленными орбитальным движением космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 и интервалом между ними.

На фиг. 14 показана структурная схема приведенного в качестве примера способа развертывания группировки космических аппаратов. Способ 200, показанный на фиг. 14, представляет пример способа, который может быть использован с системой 100, показанной, например, на фиг. 1, или наземной станцией 114. Кроме того, устройства или системы могут быть использованы или выполнены для реализации логических функций, представленных на фиг. 14. В некоторых случаях компоненты устройств и/или систем могут быть выполнены с возможностью реализации функций таким образом, что компоненты по существу выполнены с возможностью и имеют конфигурации (с помощью аппаратных средств и/или программным обеспечением) для обеспечения такой реализации. В других примерах компоненты устройств и/или систем могут быть выполнены с возможностью приспособления, выполнения или подстраивания к реализации функций, например, при работе в определенном порядке. Способ 200 может включать одну или более операций, функций или одно или более действий, как показано одним или более блоками 202-206. Несмотря на то, что блоки показаны в последовательном порядке, эти блоки также могут быть выполнены параллельно и/или в другом порядке по сравнению с порядком, описанным в на-

стоящем документе. Также, различные блоки могут быть объединены в меньшее количество блоков, разделены на дополнительные блоки и/или удалены исходя из необходимой реализации.

Следует понимать, что для этого и других процессов и способов, раскрытых в настоящем документе, структурные схемы показывают функциональные возможности и работу одного возможного осуществления настоящих примеров. В связи с этим каждый блок может представлять модуль, сегмент или часть программного кода, который включает в себя одну или более инструкций, исполняемых процессором для реализации конкретных логических функций или этапов в этом процессе. Программный код может быть сохранен на компьютерочитаемом носителе или хранилище данных любого типа, например, таком как устройство для хранения данных, в том числе диск или жесткий диск. Кроме того, программный код может быть закодирован на компьютерочитаемых носителях для хранения в машиночитаемом формате или на других некрatkовременных носителях или изделиях. Компьютерочитаемый носитель может включать в себя некрatkовременный компьютерочитаемый носитель или память, например, такие как компьютерочитаемые носители, которые сохраняют данные на небольшой период времени, например, регистровая память, кэш-память процессора и память с произвольным доступом (RAM). Компьютерочитаемый носитель может также включать в себя некрatkовременные носители, такие как вспомогательные средства хранения или средства для постоянного длительного хранения, например, постоянное запоминающее устройство (ROM), оптические или магнитные диски, компакт-диск только для чтения (CD-ROM). Компьютерочитаемые носители могут также быть любыми другими энергозависимыми или энергонезависимыми системами для хранения. Компьютерочитаемый носитель может представлять собой, например, материальный компьютерочитаемый носитель для хранения.

Кроме того, каждый блок на фиг. 14, и в рамках других процессов и способов, раскрытых в настоящем документе, может представлять схему, подключенную для реализации конкретных логических функций в этом процессе. Альтернативные варианты реализации включены в объем примеров раскрытия настоящего изобретения, в которых функции могут быть выполнены в порядке, отличном от показанного или описанного, в том числе по существу одновременно или в обратном порядке, в зависимости от включенной функциональности, как будет очевидно специалистам в данной области техники.

В блоке 202 способ 200 включает выпуск кластера 102 космических аппаратов из средства 150 выведения на первой орбите 140. В некоторых примерах после выпуска кластера 102 космических аппаратов из средства 150 выведения на первой орбите 140 фазирование каждого космического аппарата относительно других космических аппаратов составляет приблизительно 0° .

В блоке 204 способ 200 включает отделение космических аппаратов друг от друга в кластере 102 космических аппаратов, с тем чтобы свести к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станцией 114. Указанное может включать, например, разделение космических аппаратов в кластере 102 так, что фазирование каждого космического аппарата относительно других космических аппаратов является приблизительно равномерным, если смотреть с наземной станции 114. Разделение происходит последовательным образом, и когда соответствующий космический аппарат изменяет высоту, он перемещается по второй орбите, что вызывает дрейф, приводящий к его относительному фазированию относительно других космических аппаратов в кластере 102, например. Кроме того, в некоторых примерах разделение происходит таким образом, что только один космический аппарат виден на наземной станции 114 в любой данный момент времени с уменьшением затрат за счет наличия и использования только одной наземной станции в одно время.

В блоке 206 способ 200 включает одновременный подъем каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту 142. Наземная станция 114 выполнена с возможностью отправки временной команды на каждый из космических аппаратов, когда он виден наземной станцией 114, предписывающей выполнение маневра для его вывода на соответствующую конечную орбиту 142. Временная команда может указывать время старта для одновременного вывода на орбиту. Таким образом, каждый из космических аппаратов 104, 106, 108 и 110 может одновременно совершить подъем примерно с одной и той же начальной высоты (например, орбиты 156 дрейфа), которая выше или ниже первой орбиты 140, с фазированным разделением каждого из космических аппаратов относительно друг друга, приводящим к относительному фазированию, сохраняющемуся после того, как каждый из космических аппаратов достигнет соответствующей конечной орбиты 142.

Наземная станция 114 размещена на поверхности Земли и осуществляет связь с каждым космическим аппаратом по линии прямой видимости, по одному за один раз. Таким образом, наземная станция 114 выдает по отдельности команды на космические аппараты 104, 106, 108 и 110 на отделение и последующий подъем. Этот способ позволяет избежать необходимости во многих наземных станциях с соответствующим уменьшением затрат на систему 100.

Способ 200 может длиться месяц, 6 месяцев, год и т.п. для завершения полного разделения и вывода космических аппаратов на конечную орбиту 142 в зависимости от высоты первой орбиты 140 и высоты конечной орбиты 142, массы космических аппаратов и других рассматриваемых факторов.

На фиг. 15 показана структурная схема приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 200 по фиг. 14. Как показано в блоке 208, дополнительные функции могут включать в себя побуждение космических аппаратов в кластере 102 увеличить или уменьшить высоту

последовательным образом, и когда соответствующий космический аппарат изменяет высоту, он перемещается по второй орбите 156, что вызывает дрейф, приводящий к его относительному фазированию относительно других космических аппаратов в кластере 102.

На фиг. 16 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 200 по фиг. 14. Как показано в блоке 210, дополнительные функции могут включать в себя побуждение первого космического аппарата в кластере 102 увеличить или уменьшить высоту, что вызывает дрейф вследствие нахождения на отличающейся орбите, и, как показано в блоке 212, также дополнительные функции могут включать в себя побуждение первого космического аппарата в кластере 102 прекратить изменение высоты после достижения необходимой скорости дрейфа относительно других космических аппаратов в кластере 102 и перемещаться по второй орбите, которая больше или меньше первой орбиты 140.

На фиг. 17 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 200 по фиг. 14. Как показано в блоке 214, дополнительные функции могут включать в себя разделение космических аппаратов таким образом, что только один космический аппарат виден наземной станцией в любой данный момент времени.

На фиг. 18 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 200 по фиг. 14. Как показано в блоке 216, дополнительные функции могут включать в себя разделение космических аппаратов в кластере 102 относительно друг друга с получением фазы разделения одного космического аппарата от другого космического аппарата.

На фиг. 19 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 200 по фиг. 14. Как показано в блоке 218, дополнительные функции могут включать в себя отправку временной команды на каждый из космических аппаратов, когда он виден наземной станцией 114, предписывающей выполнение маневра для его вывода на соответствующую конечную орбиту 142, при этом временная команда указывает, когда начать этот маневр, чтобы обеспечить синхронный вывод на орбиту и сохранить фазирование каждого космического аппарата относительно друг друга.

На фиг. 20 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 200 по фиг. 14. Как показано в блоке 220, дополнительные функции могут включать в себя отправку на каждый космический аппарат времени старта для синхронного вывода на орбиту.

На фиг. 21 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 200 по фиг. 14. Как показано в блоке 222, дополнительные функции могут включать в себя одновременный подъем каждого из космических аппаратов примерно с одной и той же начальной орбиты, отличающейся от первой орбиты 140, с фазированным разделением каждого из космических аппаратов относительно друг друга, приводящим к относительному фазированию, сохраняющемуся после того, как каждый из космических аппаратов достигнет соответствующей конечной орбиты 142.

На фиг. 22 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 200 по фиг. 14. Как показано в блоке 224, дополнительные функции могут включать в себя связь с каждым космическим аппаратом по линии прямой видимости, и, как показано в блоке 226, также дополнительные функции могут включать в себя связь с каждым космическим аппаратом по одному за один раз.

На фиг. 23 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 200 по фиг. 14. Как показано в блоке 228, дополнительные функции могут включать в себя выдачу наземной станцией 114 по отдельности команд на космические аппараты на отделение и последующий подъем.

На фиг. 24 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа развертывания группировки космических аппаратов. Способ 229, показанный на фиг. 24, представляет пример способа, который может быть использован с наземной станцией 114, для управления работой космических аппаратов 104, 106, 108 и 110. Как показано на фиг. 1, хранилище 120 данных (или некротковременный компьютерочитаемый носитель для хранения) имеет сохраненные на нем исполняемые инструкции 136, которые при их исполнении процессором (процессорами) 116 побуждают наземную станцию 114 реализовывать функции. Такие функции включают в себя, как показано в блоке 230, побуждение космических аппаратов в кластере 102, выпущенных на первой орбите 140, выполнить отделение друг от друга, с тем чтобы свести к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станцией 114, и, как показано в блоке 232, побуждение каждого из отделившихся космических аппаратов совершить одновременный подъем с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту 142.

На фиг. 25 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 229 по фиг. 24. Как показано в блоке 234, дополнительные функции могут включать в себя побуждение выпуска кластера космических аппаратов из средства 150 выведения на первой орбите 140 посредством отправки в средство выведения команды на выпуск кластера космических аппаратов.

На фиг. 26 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 229 по фиг. 24. Как показано в блоке 236, дополнительные функции могут включать в себя отправку команды на каждый из космических аппаратов в кластере 102 на изменение высоты последовательным образом, и когда соответствующий космический аппарат изменяет высоту, он перемещается по второй орбите 156, что вызывает дрейф, приводящий к его относительному фазированию относительно других космических аппаратов в кластере 102.

На фиг. 27 показана структурная схема еще одного приведенного в качестве примера способа, который может быть использован со способом 229 по фиг. 24. Как показано в блоке 238, дополнительные функции могут включать в себя отправку команды на каждый космический аппарат, указывающей время старта для синхронного вывода на орбиту.

Таким образом, наземная станция 114 может реализовать эти функции посредством отправки команд на каждый из космических аппаратов в кластере 102 для увеличения или уменьшения высоты последовательным образом и отправки команд на каждый космический аппарат, указывающей время старта для синхронного вывода на орбиту, например. Команды могут быть отправлены, например, беспроводным образом по спутниковым линиям связи или посредством прямой беспроводной связи.

Наземная станция 114 выполнена с возможностью отправки команд в соответствующие моменты времени на космические аппараты, когда космические аппараты видимы для наземной станции 114. Например, после отделения первого космического аппарата от кластера 102 на необходимое расстояние наземная станция 114 отправляет команду на второй космический аппарат для инициирования пространственного разделения и т.д. Наземная станция 114 также выдает команды для всех космических аппаратов, указывающие, когда начать синхронный вывод на орбиту. Команда синхронного вывода на орбиту может быть отправлена на каждый космический аппарат, когда космические аппараты находятся в поле зрения наземной станции 114, и обеспечена посредством таймера для будущего инициирования вывода на орбиту таким образом, что вывод на орбиту будет начат после получения всеми космическими аппаратами команд и их смещения на необходимые расстояния. Команда вывода на орбиту обеспечивается заранее, поскольку не все космические аппараты будут находиться в поле зрения наземной станции 114 для приема указанной команды.

Кроме того, раскрытие настоящего изобретения содержит примеры согласно следующим пунктам.

Пункт 1. Способ 200 развертывания группировки космических аппаратов, включающий:

выпуск 202 кластера 102 космических аппаратов 104, 106, 108, 110 из средства 150 выведения на первой орбите 140;

отделение 204 космических аппаратов друг от друга в кластере космических аппаратов, с тем чтобы свести к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станцией 114; и

одновременный подъем 206 каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту 142.

Пункт 2. Способ по п.1, согласно которому после выпуска кластера космических аппаратов из средства выведения на первой орбите фазирование каждого космического аппарата относительно других космических аппаратов составляет приблизительно 0° .

Пункт 3. Способ по п.1, согласно которому отделение космических аппаратов друг от друга в кластере космических аппаратов включает: побуждение космических аппаратов в кластере увеличить или уменьшить высоту последовательным образом, причем

когда соответствующий космический аппарат изменяет высоту, он перемещается по второй орбите 156, что вызывает дрейф, приводящий к его относительному фазированию относительно других космических аппаратов в кластере.

Пункт 4. Способ по п.1, согласно которому отделение космических аппаратов друг от друга в кластере космических аппаратов включает:

побуждение первого космического аппарата в кластере увеличить или уменьшить высоту, что вызывает дрейф вследствие нахождения на отличающейся орбите; и

побуждение первого космического аппарата в кластере прекратить изменение высоты после достижения необходимой скорости дрейфа относительно других космических аппаратов в кластере и перемещаться по второй орбите, которая больше или меньше первой орбиты.

Пункт 5. Способ по п.1, согласно которому отделение космических аппаратов друг от друга в кластере космических аппаратов включает: разделение космических аппаратов таким образом, что только один космический аппарат виден наземной станцией в любой данный момент времени.

Пункт 6. Способ по п.1, согласно которому отделение космических аппаратов друг от друга в кластере космических аппаратов включает: разделение космических аппаратов в кластере относительно друг друга с получением фазы разделения одного космического аппарата от другого космического аппарата.

Пункт 7. Способ по п.6, согласно которому фаза разделения составляет приблизительно $360/x$, где x - количество космических аппаратов в кластере.

Пункт 8. Способ по п.1, согласно которому одновременный подъем каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту включает: отправку временной команды на каждый из космических аппаратов, когда он виден наземной станцией,

предписывающей выполнение маневра для его вывода на соответствующую конечную орбиту, причем временная команда указывает, когда начать этот маневр, чтобы обеспечить синхронный вывод на орбиту и сохранить фазирование каждого космического аппарата относительно друг друга.

Пункт 9. Способ по п.1, согласно которому одновременный подъем каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту включает: отправку на каждый космический аппарат времени старта для синхронного вывода на орбиту.

Пункт 10. Способ по п.1, согласно которому одновременный подъем каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту включает: одновременный подъем каждого из космических аппаратов примерно с одной и той же начальной орбиты, отличающейся от первой орбиты, с фазированным разделением каждого из космических аппаратов относительно друг друга, приводящим к относительному фазированию, сохраняющемуся после того, как каждый из космических аппаратов достигнет соответствующей конечной орбиты.

Пункт 11. Способ по п.1, согласно которому наземная станция размещена на поверхности Земли, а способ также включает: связь с каждым космическим аппаратом по линии прямой видимости и связь с каждым космическим аппаратом по одному за один раз.

Пункт 12. Способ по п.1, согласно которому разделение космических аппаратов в кластере космических аппаратов и одновременный подъем каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом на орбиту включает: выдачу наземной станцией по отдельности команд на космические аппараты на отделение и последующий подъем.

Пункт 13. Способ по п.1, согласно которому кластер космических аппаратов содержит от двух до приблизительно двенадцати космических аппаратов.

Пункт 14. Некратковременный компьютерочитаемый носитель 120 для хранения, имеющий сохраненные на нем инструкции 136, которые при их исполнении системой 114, имеющей один или более процессоров 116, побуждают систему реализовывать функции, содержащие:

побуждение космических аппаратов в кластере 102 космических аппаратов 104, 106, 108, 110, выпущенных на первой орбите 140 для отделения друг от друга, с тем чтобы свести к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станцией 114;

побуждение каждого из отделившихся космических аппаратов совершить одновременный подъем с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту 142.

Пункт 15. Некратковременный компьютерочитаемый носитель для хранения по п.14, в котором указанные функции также включают: побуждение выпуска кластера космических аппаратов из средства 150 выведения на первой орбите 140 посредством отправки в средство выведения команды на выпуск кластера космических аппаратов.

Пункт 16. Некратковременный компьютерочитаемый носитель для хранения по п.14, в котором вызов отделения космических аппаратов друг от друга в кластере космических аппаратов включает: отправку команды на каждый из космических аппаратов в кластере на изменение высоты последовательным образом, причем когда соответствующий космический аппарат изменяет высоту, он перемещается по второй орбите, что вызывает дрейф, приводящий к его относительному фазированию относительно других космических аппаратов в кластере.

Пункт 17. Некратковременный компьютерочитаемый носитель для хранения по п.14, в котором побуждение каждого из отделившихся космических аппаратов совершить одновременный подъем с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту включает: отправку команды на каждый космический аппарат, указывающей время старта для синхронного вывода на орбиту.

Пункт 18. Система 100 для развертывания группировки космических аппаратов, содержащая:

кластер 102 космических аппаратов 104, 106, 108, 110, двигающихся по первой орбите 140;

наземную станцию 114, имеющую связь с космическими аппаратами кластера космических аппаратов, когда космические аппараты кластера видимы для наземной станции, причем наземная станция выполнена с возможностью отправки на каждый космический аппарат в кластере космических аппаратов первой команды, предписывающей такое их отделение друг от друга, что фазирование каждого космического аппарата относительно других космических аппаратов сводит к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станцией, и

наземная станция выполнена с возможностью отправки на каждый из отделившихся космических аппаратов второй команды, предписывающей по отделении их одновременный подъем с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту 142.

Пункт 19. Система по п.18, в которой наземная станция выполнена с возможностью отправки первой команды, предписывающей космическим аппаратам в кластере изменить высоту последовательным образом, причем когда соответствующий космический аппарат изменяет высоту, он перемещается по второй орбите, что вызывает дрейф, приводящий к его относительному фазированию относительно других космических аппаратов в кластере.

Пункт 20. Система по п.18, в которой наземная станция выполнена с возможностью отправки второй команды, предписывающей каждому из космических аппаратов выполнить маневр для его вывода на соответствующую конечную орбиту и указывающей, когда начать этот маневр, чтобы обеспечить син-

хронный вывод на орбиту и сохранить фазирование каждого космического аппарата относительно друг друга.

Описание различных предпочтительных конфигураций было представлено в целях иллюстрации и описания и не претендует на исчерпывающий характер или не ограничивается раскрытыми конфигурациями. Многие возможные модификации и варианты будут очевидны специалистам в данной области техники. Кроме того, различные предпочтительные примеры могут обеспечивать различные преимущества по сравнению с другими предпочтительными примерами. Примеры были выбраны и описаны в целях наилучшего объяснения принципов этих примеров, их практического применения и обеспечения возможности понимания специалистами в данной области техники представленного раскрытия настоящего изобретения для различных примеров с различными модификациями, которые подходят для конкретного рассматриваемого использования.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система (100) для развертывания группировки космических аппаратов, содержащая: кластер (102) космических аппаратов (104, 106, 108, 110), двигающихся по первой орбите (140); и наземную станцию (114), имеющую связь с космическими аппаратами кластера космических аппаратов, когда космические аппараты кластера видимы наземной станцией, причем наземная станция выполнена с возможностью отправки на каждый космический аппарат кластера космических аппаратов первой команды, предписывающей такое их отделение друг от друга в группировке, что фазирование каждого космического аппарата относительно других космических аппаратов сводит к минимуму перекрывающиеся периоды их видимости с наземной станцией, а также с возможностью отправки на каждый из космических аппаратов второй команды, предписывающей по отделению их одновременный подъем с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту (142).
2. Система по п.1, в которой наземная станция выполнена с возможностью отправки первой команды, предписывающей космическим аппаратам кластера изменить высоту последовательным образом, причем когда соответствующий космический аппарат изменяет высоту, он перемещается по второй орбите, что вызывает дрейф, приводящий к его относительному фазированию относительно других космических аппаратов кластера.
3. Система по п.1, в которой наземная станция выполнена с возможностью отправки второй команды, предписывающей каждому из космических аппаратов выполнить маневр для его вывода на соответствующую конечную орбиту и указывающей, когда начать этот маневр, чтобы обеспечить синхронный вывод на орбиту и сохранить фазирование каждого космического аппарата относительно друг друга.
4. Способ (200) работы системы для развертывания группировки космических аппаратов по п.1, включающий:
выпуск (202) кластера (102) космических аппаратов (104, 106, 108, 110) из средства (150) выведения на первой орбите (140);
отделение (204) космических аппаратов кластера космических аппаратов друг от друга в группировке со сведением к минимуму перекрывающихся периодов их видимости с наземной станцией (114); и
одновременный подъем (206) каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту (142).
5. Способ по п.4, согласно которому после выпуска кластера космических аппаратов из средства выведения на первой орбите фазирование каждого космического аппарата относительно других космических аппаратов составляет приблизительно 0°.
6. Способ по п.4, согласно которому отделение космических аппаратов кластера космических аппаратов друг от друга включает побуждение космических аппаратов кластера увеличить или уменьшить высоту последовательным образом,
причем когда соответствующий космический аппарат изменяет высоту, он перемещается по второй орбите (156), что вызывает дрейф, приводящий к его относительному фазированию относительно других космических аппаратов кластера.
7. Способ по п.4, согласно которому отделение космических аппаратов кластера космических аппаратов друг от друга включает:
побуждение первого космического аппарата кластера увеличить или уменьшить высоту, что вызывает дрейф вследствие нахождения на отличающейся орбите; и
побуждение первого космического аппарата кластера прекратить изменение высоты после достижения необходимой скорости дрейфа относительно других космических аппаратов кластера и перемещаться по второй орбите, которая больше или меньше первой орбиты.
8. Способ по п.4, согласно которому отделение космических аппаратов кластера космических аппаратов друг от друга включает разделение космических аппаратов таким образом, что только один космический аппарат виден наземной станцией в любой данный момент времени.
9. Способ по п.4, согласно которому отделение космических аппаратов кластера космических аппа-

ратов друг от друга включает разделение космических аппаратов кластера относительно друг друга с получением фазы разделения одного космического аппарата от другого космического аппарата.

10. Способ по п.9, согласно которому фаза разделения составляет приблизительно $360/x$, где x - количество космических аппаратов в кластере.

11. Способ по п.4, согласно которому одновременный подъем каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту включает отправку на каждый из космических аппаратов, когда он виден наземной станцией, временной команды, предписывающей выполнение маневра для его вывода на соответствующую конечную орбиту,

причем временная команда указывает, когда начать этот маневр, чтобы обеспечить синхронный вывод на орбиту и сохранить фазирование каждого космического аппарата относительно друг друга.

12. Способ по п.4, согласно которому одновременный подъем каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту включает по меньшей мере одно из следующего:

отправка на каждый космический аппарат времени старта для синхронного вывода на орбиту и

одновременный подъем каждого из космических аппаратов примерно с одной и той же начальной орбиты, отличающейся от первой орбиты, с фазированным разделением каждого из космических аппаратов относительно друг друга, приводящим к относительному фазированию, сохраняющемуся после того, как каждый из космических аппаратов достигнет соответствующей конечной орбиты.

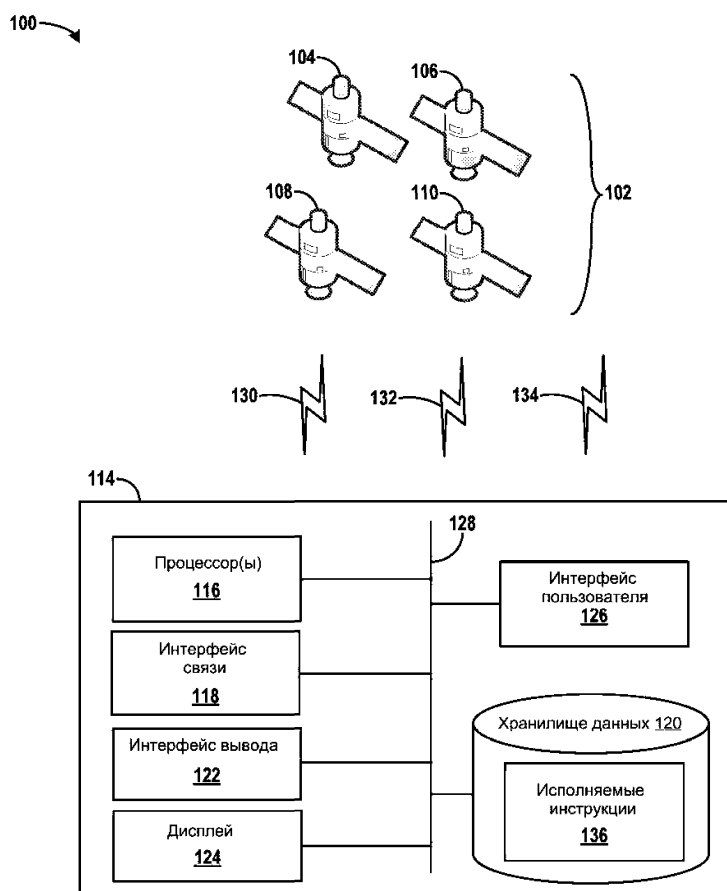
13. Способ по п.4, согласно которому наземная станция размещена на поверхности Земли, а способ также включает:

связь с каждым космическим аппаратом по линии прямой видимости и

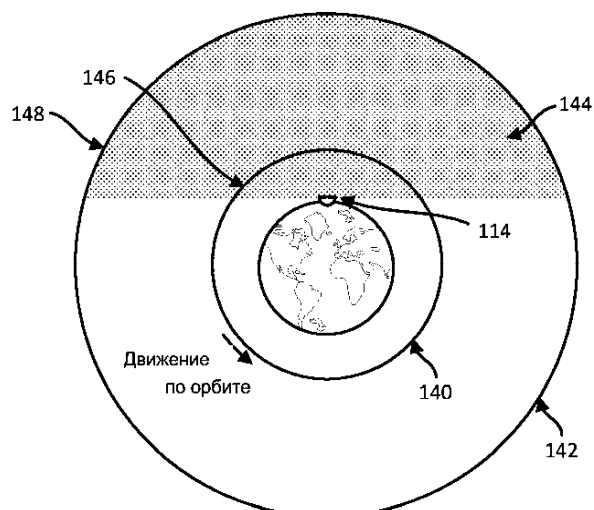
связь с каждым космическим аппаратом по одному за один раз.

14. Способ по п.4, согласно которому разделение космических аппаратов кластера космических аппаратов и одновременный подъем каждого из отделившихся космических аппаратов с их синхронным выводом включает выдачу наземной станцией по отдельности команд на космические аппараты на отделение и последующий подъем.

15. Способ по п.4, согласно которому кластер космических аппаратов содержит от двух до приблизительно двенадцати космических аппаратов.



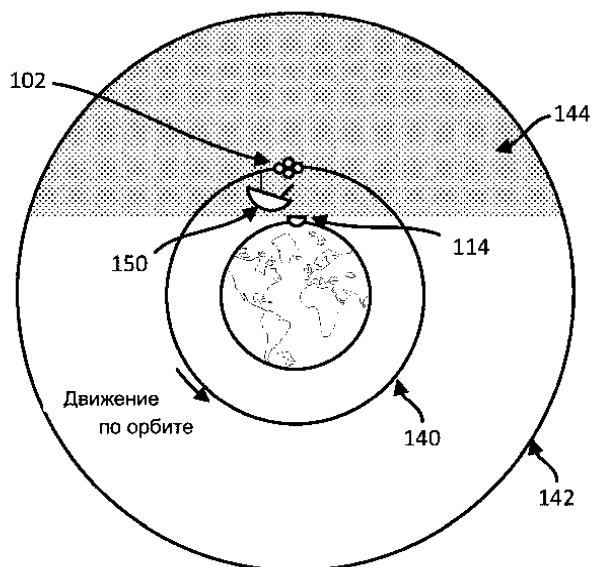
Фиг. 1



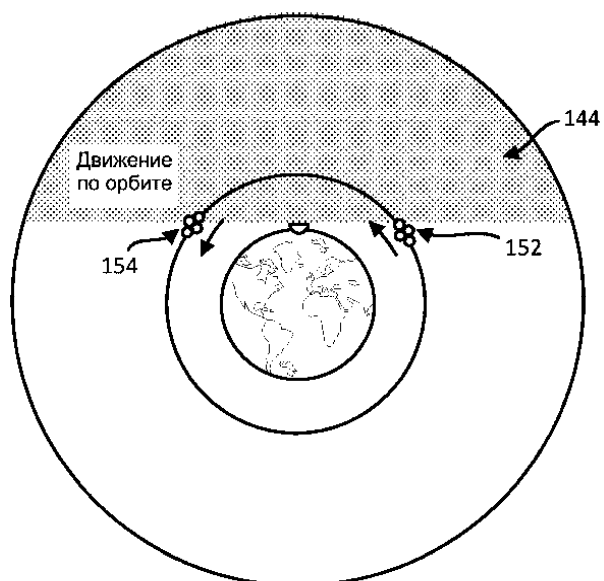
Фиг. 2



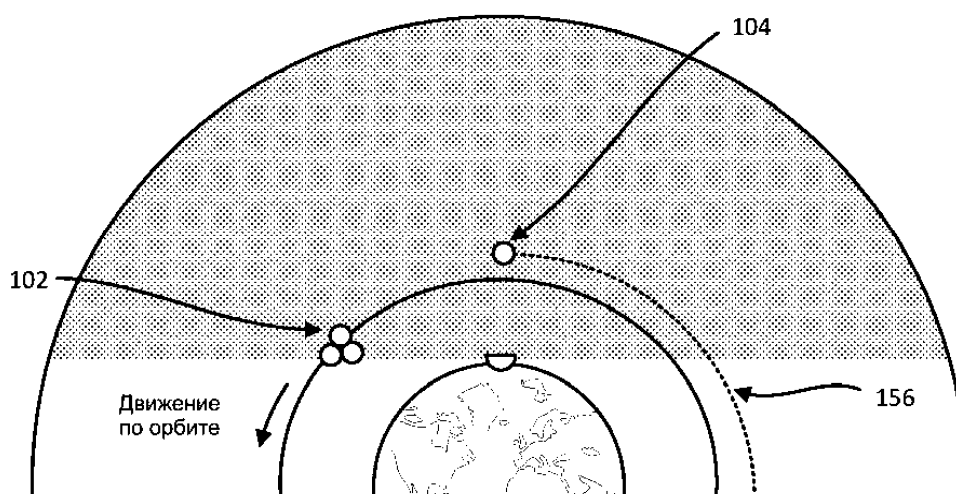
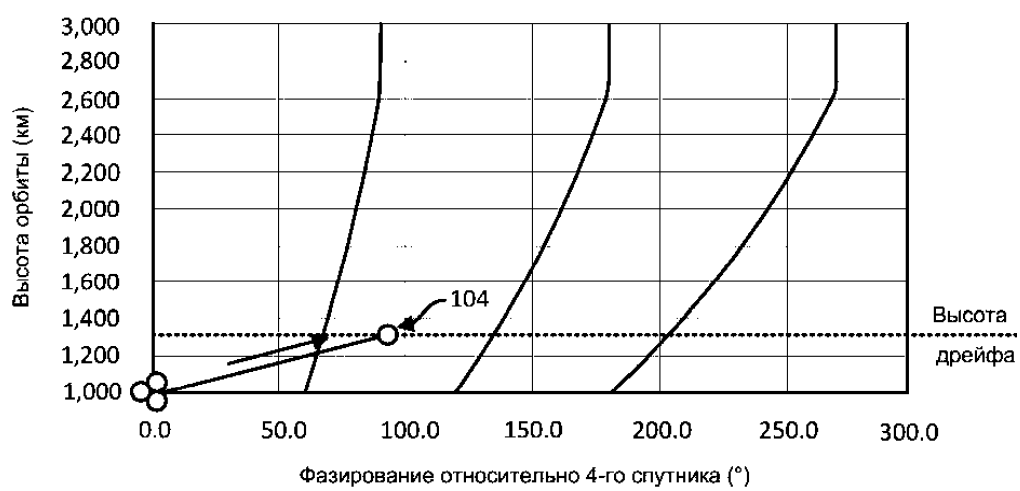
Фиг. 3



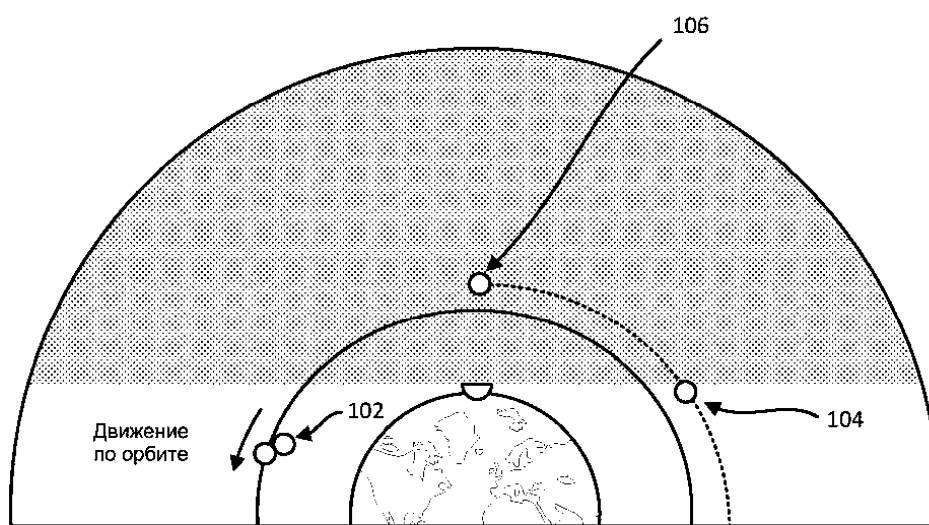
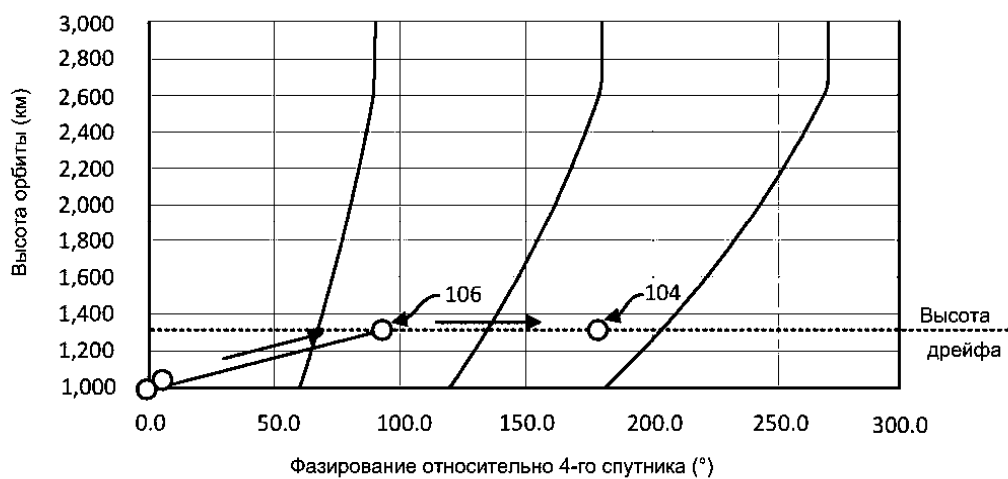
Фиг. 4



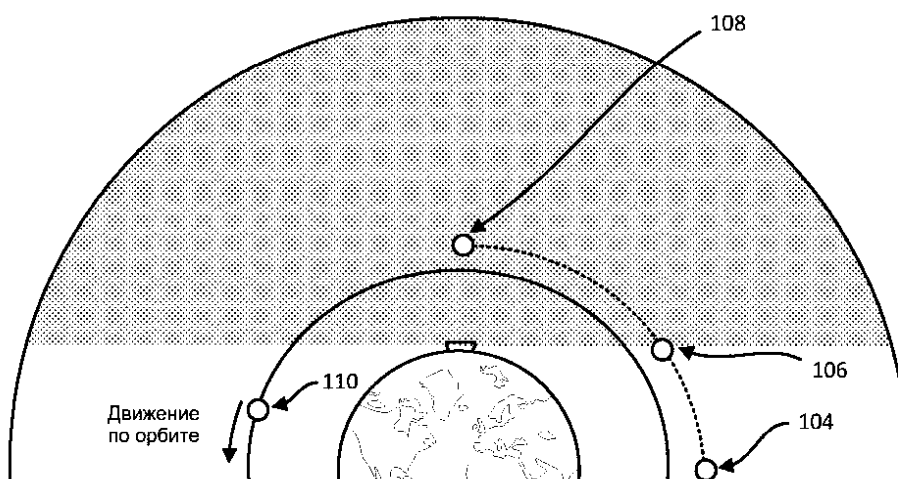
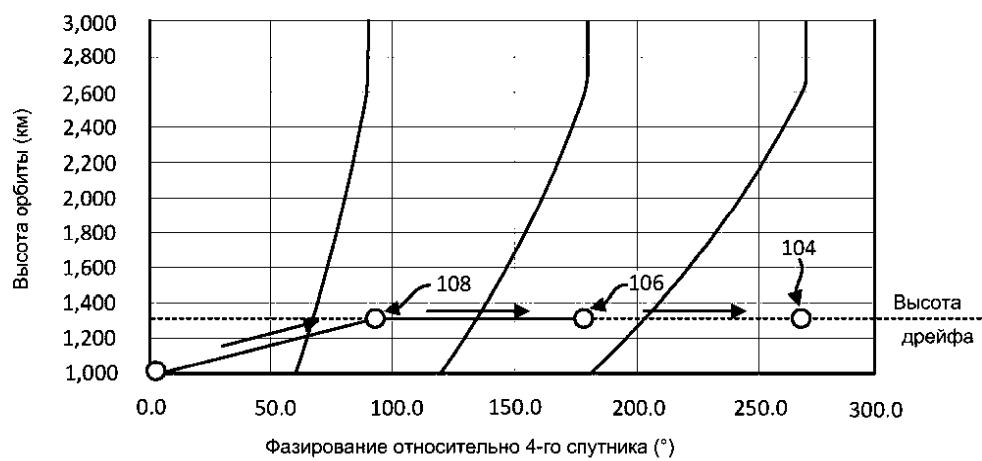
Фиг. 5



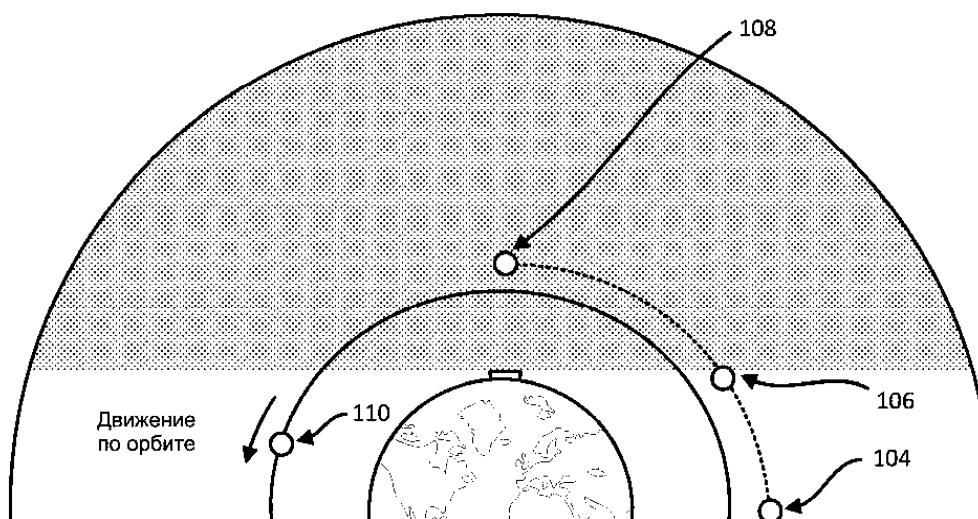
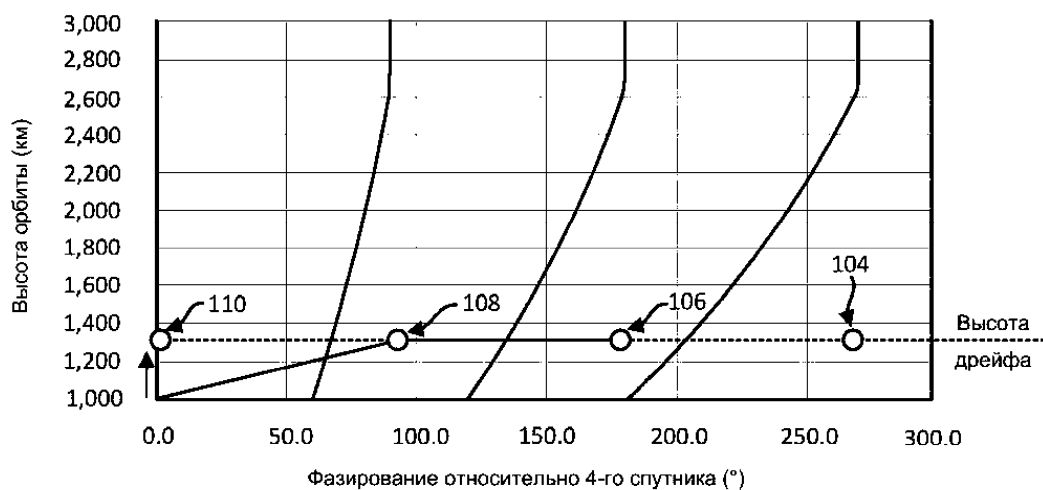
Фиг. 6



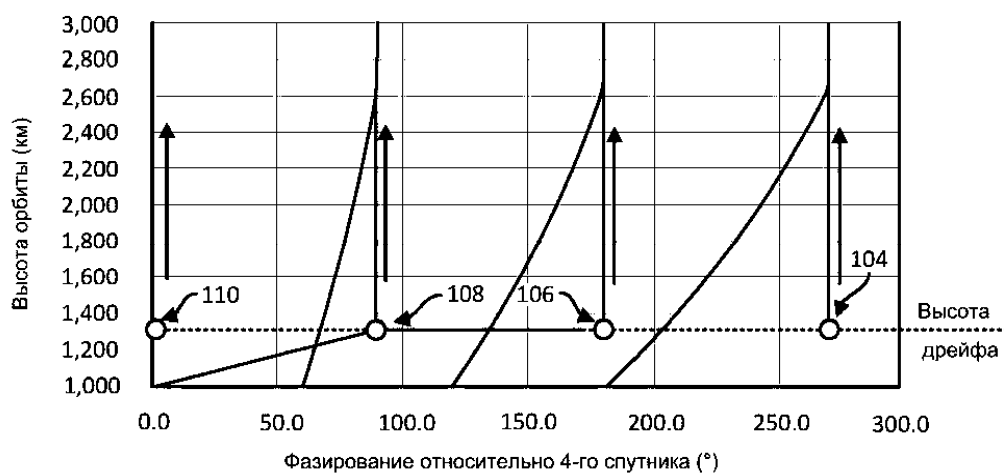
Фиг. 7



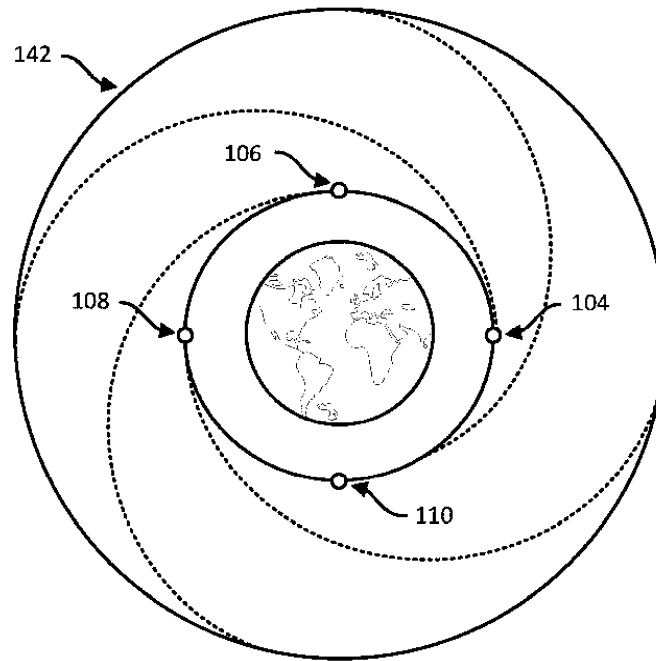
Фиг. 8



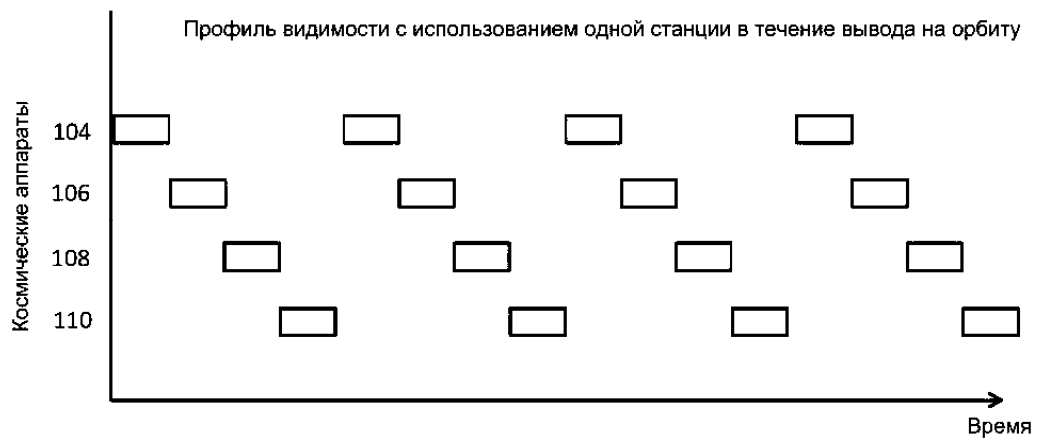
Фиг. 9



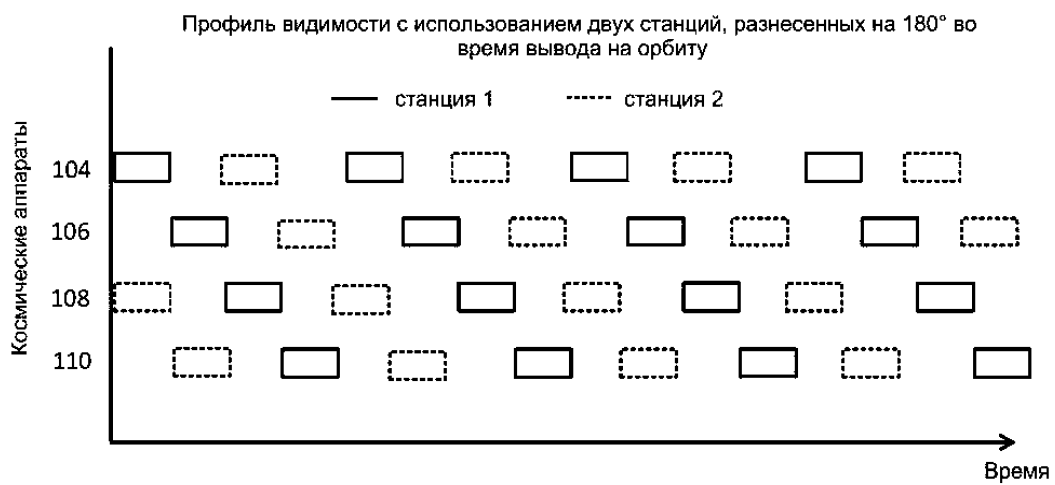
Фиг. 10



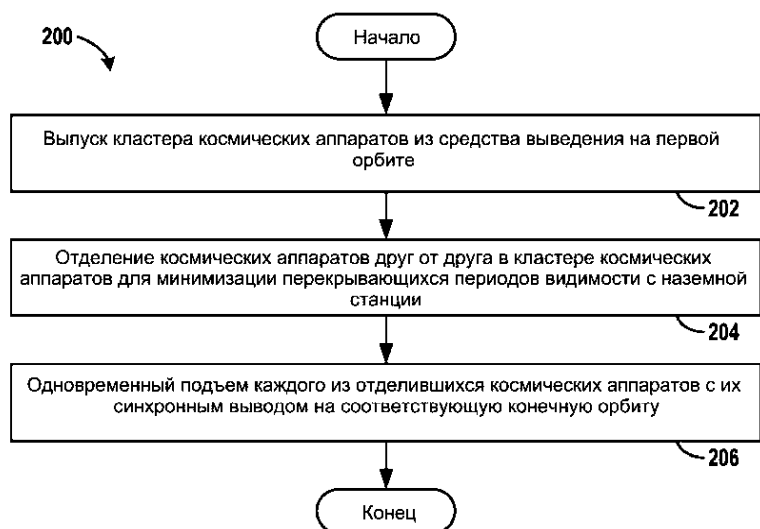
Фиг. 11



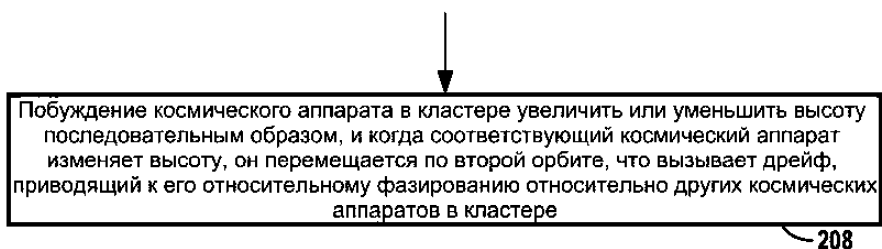
Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17



Фиг. 18

Отправка временной команды на каждый из космических аппаратов, когда он виден наземной станцией, предписывающей выполнение маневра для его вывода на соответствующую конечную орбиту, при этом временная команда указывает, когда начать этот маневр, чтобы обеспечить синхронный вывод на орбиту и сохранить фазирование каждого космического аппарата относительно друг друга

218

Фиг. 19

Отправка на каждый космический аппарат времени старта для синхронного вывода на орбиту

220

Фиг. 20

Одновременный подъем каждого из космических аппаратов примерно с одной и той же начальной орбиты, отличающейся от первой орбиты, с фазированным разделением каждого из космических аппаратов относительно друг друга, приводящим к относительному фазированию, сохраняющемуся после того, как каждый из космических аппаратов достигнет соответствующей конечной орбиты

222

Фиг. 21

Связь с каждым космическим аппаратом по линии прямой видимости

224

Связь с каждым космическим аппаратом по одному за один раз

226

Фиг. 22

Выдача наземной станцией по отдельности команд на космические аппараты на отделение и последующий подъем

228

Фиг. 23

229

Начало

Побуждение космических аппаратов в кластере, выпущенных на первой орбите, выполнить отделение друг от друга, с тем чтобы свести к минимуму перекрывающиеся периоды видимости с наземной станцией

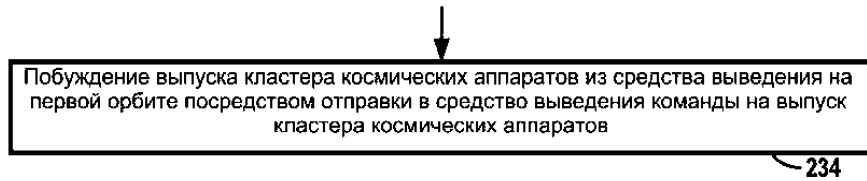
230

Побуждение каждого из отделившихся космических аппаратов совершить одновременный подъем с их синхронным выводом на соответствующую конечную орбиту

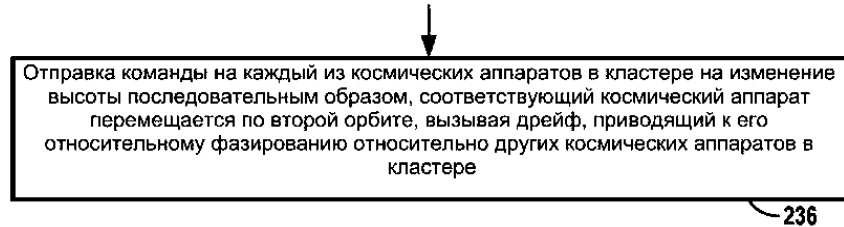
232

Конец

Фиг. 24



Фиг. 25



Фиг. 26



Фиг. 27

