

## Возможные принципы построения малобюджетной ракеты-носителя сверхлегкого класса

© П.М. Бечаснов, А.М. Ильин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрена возможность снижения стоимости разработки и пуска сверхлегкой ракеты-носителя (СЛРН) путем упрощения ее конструкции, в том числе отказа от использования насосной подачи. Сформулированы ключевые требования к СЛРН на основе анализа отечественного и мирового рынка средств выведения данного класса. Предложено применение вытеснительной подачи низкого давления, абляционно-завесного охлаждения камер сгорания двигателей, повышенной тяговооруженности ступеней для компенсации увеличивающихся потерь на противодавление, сферических баков, а также финального маневра последней ступени по завершении выведения для компенсации его погрешностей. На основе имитационной методики Таунсенда для оценки грузоподъемности ракет-носителей и упрощенной аэробаллистической модели проанализирована эффективность предлагаемых технических решений и определено их влияние на возможную массу полезной нагрузки. Показано, что построенная на указанных принципах трехступенчатая ракета приблизительно соответствует по доле полезной нагрузки иным концепциям ракет-носителей на тех же топливных компонентах.*

**Ключевые слова:** сверхлегкая ракета-носитель, вытеснительная подача, абляционно-завесное охлаждение двигателей

**Введение.** Основным коммерчески значимым сегментом запускаемых космических аппаратов (КА) в последнее время стали большие группировки малых спутников. Их предлагают достаточно много, и большинство из таких проектов предполагается реализовать в ближайшее десятилетие. Следует отметить, что как проектное количество малых КА во вновь разворачиваемых группировках, так и фактически выводимое их число демонстрируют экспоненциальный рост: количество спутников, выведенных в 2020 г., составило 1271, в 2021 г. — 1810, в 2022 г. — 2477 [1]. При этом на коммерческом рынке наряду с ракетами-носителями (РН) легкого и среднего классов в последнее время успешно реализуются и РН сверхлегкого класса. Так, в 2019–2021 гг. ежегодно совершалось по шесть-семь пусков РН Electron, а в 2022 г. их было выполнено уже девять.

Основные преимущества сверхлегкой ракеты-носителя (СЛРН) — это оперативность пуска, возможность выбора целевой орбиты, отсутствие ограничений на пуск КА, которые при попутном или кластерном пуске могут быть сочтены опасными для других аппаратов, сравнительно низкая стоимость единичного пуска. Однако удельная стоимость выведения СЛРН гораздо выше. Например, даже для

экономически успешной РН Electron она составляет 22,7 тыс. долл./кг, в то время как для РН «Союз-2.1б» соответствующая величина равна приблизительно 5 тыс. долл./кг.

Таким образом, возникает актуальная задача поиска места СЛРН на растущем рынке пусковых услуг. Для разных вариантов их решения облик используемой ракеты и серийность ее пусков могут значительно различаться.

Цель данной работы — обоснование возможных технических решений перспективной СЛРН, нацеленной на охват наибольшей доли рынка. В качестве основного метода исследования принят качественный функционально-стоимостной анализ.

Главная целевая функция СЛРН — выведение полезной нагрузки (ПН) на заданную орбиту с максимальной оперативностью и минимальной стоимостью. При этом ввиду сложности объекта исследования стоимость транспортной операции будет существенно зависеть от рыночной ситуации, предъявляемых требований и соответствия им заложенных в СЛРН технических решений, поэтому на данном этапе может быть оценена только на основе качественных сравнений. Следовательно, для достижения поставленной цели необходимо проанализировать рыночные требования к СЛРН, подобрать рациональные для их выполнения технические решения и показать, что их использование способно обеспечить выведение ПН на орбиту.

**Анализ рыночных требований к СЛРН.** В условиях конкуренции на рынке у использования СЛРН всегда есть альтернатива в виде выведения полезной нагрузки на недогруженной РН большей грузоподъемности. Также при разворачивании многочисленных группировок малых КА их суммарная масса становится, как правило, достаточной для использования РН как минимум легкого класса.

Поэтому применение СЛРН становится рациональным в основном при решении задач восполнения уже развернутых ракетами большей грузоподъемности группировок. Однако при таком способе их задействования возможна и альтернатива в виде резервирования дополнительными аппаратами, выводимыми в том же пуске более тяжелыми РН. При достаточно дешевом производстве серийных КА использование более дешевого выведения на ракетах более тяжелого класса с запасом вместо оперативного запуска по потребности может оказаться выгоднее.

При наличии у КА из многочисленной группировки возможности маневра или переключения для восполнения потерь рациональность применения СЛРН выясняется сравнением оперативности выведения СЛРН и орбитального маневра, сроков активного существования и наземного хранения аппарата, а также стоимостей выведения. Пока завершивших развертывание группировок не так много, детальный

количественный анализ описанной задачи невозможен из-за отсутствия исходных данных.

Рассмотрение типовых полезных нагрузок РН Electron показывает следующие особенности решаемых ею задач:

- большое количество пусков на нестандартные орбиты;
- высокая доля технологических демонстраторов среди выводимых КА;
- при выведении КА, принадлежащих к той или иной группировке, СЛРН используется только как дополнительный носитель в основном из-за отсутствия мест на носителях более тяжелого класса;
- высокая частота пусков КА, имеющих массу меньше максимально выводимой, т. е. со значительным недогрузом СЛРН.

В условиях РФ запуски технологических демонстраторов производятся сравнительно редко, а для нестандартных орбит отсутствуют поля падения. С учетом возможностей производства большого количества РН более тяжелого класса, малого количества производимых КА и их массогабаритных характеристик, превышающих зарубежные аналоги, подобное использование СЛРН будет, скорее всего, неэффективным в России. Основным потенциальным рынком для российской СЛРН, учитывая высокую долю оборонных пусков в национальной программе, может быть выведение ПН двойного назначения и, в перспективе, восполнение национальных группировок малых аппаратов, которое, однако, потребует тщательного обоснования исходя из их реальных технико-экономических характеристик.

При этом фактический запрет выведения иностранных полезных нагрузок на российских ракетах делает возможность выхода на международный рынок и конкуренции на нем отодвинутыми в сравнительно далекое будущее. Основные союзники России по БРИКС имеют собственные космические программы и активно практикуют протекционизм (Индия, Китай) либо сотрудничают в космосе с США (Бразилия, Южная Африка). Таким образом, дополнение к национальной пусковой программе ограничивается аппаратами сравнительно низкотехнологичных стран (Иран, КНДР), которые в силу своего политического положения также делают ставку на национальные программы.

Итак, для успешного выхода на российский рынок СЛРН должна отвечать следующим весьма жестким требованиям:

- удельная стоимость выведения ПН на уровне или ниже, чем у РН более тяжелого класса, причем при небольшом количестве пусков в год;
- оперативность выведения не ниже, чем оперативность маневра КА по фазе орбиты, т. е. несколько суток;
- минимальные затраты на разработку проекта.