

12. Семененко М. Г. Влияние распределения зерен активного материала по размерам на протекание разряда положительного электрода свинцового аккумулятора / М. Г. Семененко // Электрохимия. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 28–33.

13. Семененко М. Г. Моделирование процесса разряда в зернистом слое активного материала на отрицательном электроде свинцового аккумулятора / М. Г. Семененко // Электрохимия. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 115–118.

14. Ekdunge P. The discharge behavior of the porous lead electrode in the lead-acid battery. I. Experimental / P. Ekdunge, D. Simonsson // Journal of Applied Electrochemistry. – 1989, 19. – P. 127–135.

Надійшла до редколегії 25.11.2011.

УДК 629.764.02

П. В. Семененко

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное»

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ СПАДА ДАВЛЕНИЯ ПОДГОЛОВНЫМ ОБТЕКАТЕЛЕМ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ДНЕПР»

На основі аналізу деяких особливостей перебудови зовнішнього обтікання ракети-носія «Дніпро» при переході ним трансзвукових швидкостей визначено спосіб керування швидкістю падіння тиску у зоні розміщення космічного апарата.

Ключові слова: дренавання, швидкість падіння тиску, зона розміщення космічного апарата.

На основании анализа некоторых особенностей перестройки внешнего обтекания ракеты-носителя «Днепр» при прохождении им трансзвуковых скоростей определён способ управления скоростью спада давления в зоне расположения космического аппарата.

Ключевые слова: дренирование, скорость спада давления, зона размещения космического аппарата.

The way of controlling pressure falling in the area of cosmic apparatus location has been determined on the basis of analyzing some peculiarities of the reconstruction of the external streamlining «Dnepr» rocket carrier while it's passing through the zone of transonic speed.

Key words: draining, pressure falling velocity, the area of cosmic apparatus location.

Введение. Ракета-носитель (РН) «Днепр» относится к лёгкому классу средств выведения космических аппаратов. Первоначально он не разрабатывался как средство выведения космических аппаратов. РН «Днепр» имеет свои конструктивные особенности и баллистические параметры, несколько отличающиеся от традиционных средств выведения космических аппаратов (КА), поэтому использование его в качестве средства выведения требует дополнительных исследований.

В связи с непрерывным усовершенствованием КА растут эксплуатационные требования к ним. Прежние – ужесточаются, новые появляются. Некоторые элементы конструкции современных КА могут быть чувствительны не только к определённым зависимостям изменений давления в районе его размещения, но и к скорости спада давления (ССД). Для многих КА данный эксплуатационный параметр является критерием работоспособности.

Для расширения области применения РН «Днепр», как средства выведения КА, необходима организация способов управления величиной ССД. Актуальным

является уменьшение максимального уровня ССД. С помощью систем дренирования (СД) можно влиять на величину ССД.

В [1] проведена обработка телеметрических данных пусков по характеру внешнего обтекания третьей ступени и величинам ССД и признано целесообразным провести этап теоретических исследований.

Целью настоящего этапа теоретических исследований является разработка способа управления величиной ССД при помощи организации СД для РН «Днепр».

Целью исследования были:

- постановка задачи о влиянии распределения внешнего давления на третьей ступени и площадях дренажных устройств (ДУ) на характер изменения ССД;
- разработка методики и алгоритма расчета ССД;
- теоретическое подтверждение возможности существования и взаимозависимости двух пиков ССД при прохождении трансзвуковой скорости полёта РН;
- определение рациональных значений эффективной площади ДУ;
- нахождение оптимальных значений эффективной площади ДУ, реализующего минимальный уровень ССД;
- обобщение и анализ результатов проведённых исследований;
- выдача практических рекомендаций.

Общие данные и особенности схемы дренирования ракеты-носителя «Днепр». Дренажные устройства могут располагаться как непосредственно в III-й ступени, так и в переходнике 2-й. Их воздушные объёмы будем называть дренируемыми объёмами.

На рис. 1 показаны обобщенные данные о дренируемых объёмах и диапазоны изменений ССД в зоне размещения КА на трансзвуковом участке полёта РН.



Рис. 1. Некоторые данные и особенности схемы дренирования ракеты-носителя «Днепр»: а) дренируемые объёмы; б) диапазоны изменений скорости спада давления на трансзвуковом участке полёта РН

На рис. 1, а дана обобщенная по всем пускам характеристика СД: размещение КА, места расположения доминирующих негерметичностей и ДУ.

Процесс дренирования дренируемых объёмов в полёте происходит вследствие опорожнения или наддува. Опорожнение или наддув сухих отсеков зависит от конструкции ДУ, расположения негерметичностей, давления на дренажных устройствах и на негерметичностях, а также от траектории выведения КА. Доминирующая негерметичность – это такая группа сравнительно близко расположенных друг к другу негерметичностей, площади которых можно суммировать

и далее рассматривать как одну негерметичность. На различных элементах конструкции, имеющих негерметичности, в разные моменты времени могут реализовываться оба случая дренирования. В определённой степени это зависит от характера внешнего обтекания компоновки третьей ступени и распределения на ней внешнего давления.

На рис. 1,б показаны обобщенные по всем пускам [1] величины и характер ССД, реализующиеся при пусках ракеты-носителя «Днепр». На графике выделяются две области, характеризующиеся пиками ССД. Первый примерно на 33 сек. полёта, второй на 35 сек. Отмечены минимальные и максимальные значения ССД.

Пики I и II образуются при прохождении зоны трансзвуковых скоростей полёта (число Маха $0,8 < M < 1,2$). Перестройка течения на поверхности РН происходит в разное время на различных её элементах, что приводит к резким изменениям давления на поверхности РН. Перестройка течения на внешней поверхности РН является причиной возникновения пиков I и II в зоне размещения КА. Величины этих пиков различны от пуска к пуску, но характерны для каждой конкретной СД. Регулировать, управлять величинами двух пиков возможно с помощью выбора параметров СД.

Постановка задачи об определении скорости спада давления. В качестве математической модели рассматриваются два смежных объема V_1, V_2 , соединенных между собой отверстиями с общей площадью поперечного сечения S_{12} . Каждый из объемов имеет свои отверстия (S_1, S_2), с помощью которых происходит сообщение с атмосферой. На рис. 2,а показана упрощенная СД двух смежных объемов: зоны размещения КА и примыкающей к ней зоны разгонной ступени. В данной расчётной схеме учтены только основные параметры дренирования S_1, S_2 и S_{12} .

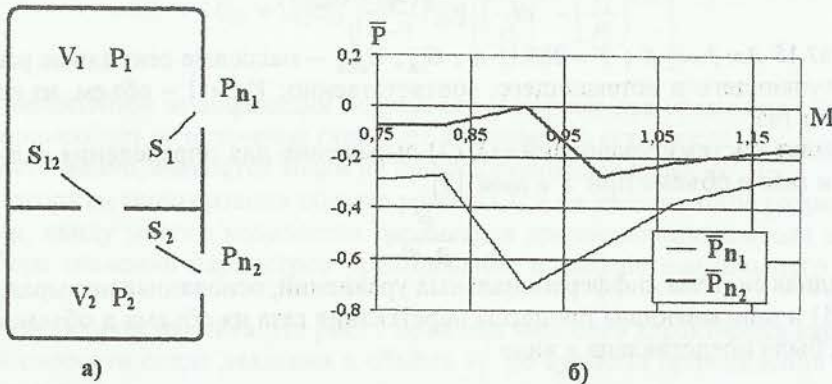


Рис. 2. Объемы V_1, V_2 с внутренними давлениями P_1, P_2 , внешними давлениями P_{n1}, P_{n2} :
 а) смежные объемы V_1 и V_2 , соединенные между собой отверстием с площадью S_{12} и сообщающиеся с внешней средой через отверстия S_1 и S_2 ;
 б) зависимость коэффициентов внешнего давления от числа Маха $\bar{P}_{n1}, \bar{P}_{n2}$ в местах установки дренажных площадей S_1 и S_2

Исходными параметрами являются: характеристики внешней среды: величины давлений и плотностей в районе отверстий с внешней средой в зависимости от времени $P_{1H}(t), \rho_{1H}(t), P_{2H}(t), \rho_{2H}(t)$; характеристики конструкции: величины объемов V_1, V_2 ; характеристики отверстий: величины $S_1, \mu_1, S_2, \mu_2, S_{12}, \mu_{12}$, где S_i – площади отверстий; μ_i – коэффициенты расхода.

Ставится задача: при заданных объемах V_1, V_2 , заданных параметрах внешней среды $P_{1H}(t), \rho_{1H}(t), P_{2H}(t), \rho_{2H}(t)$, путем варьирования параметров дрени-

рования $S_1, \mu_1, S_2, \mu_2, S_{12}, \mu_{12}$ подобрать такое их сочетание, при котором реализуется минимально возможный уровень ССД в зоне размещения КА.

На рис. 2,б показана типичная, для конструкции третьей ступени РН «Днепр», картина перестройки внешнего обтекания. В количественном отношении она характеризуется коэффициентами давлений $\bar{P}_{n1}, \bar{P}_{n2}$, реализующих величины давлений P_{n1}, P_{n2} на дренажных площадях S_1, S_2 .

Здесь представлена обобщённая качественная картина внешнего обтекания третьей ступени. Характерной особенностью обтекания является наличие поочерёдных резких спадов и подъёмов при различных числах Маха. Такая особенность перестройки течения от дозвуковой скорости до сверхзвуковой на разных элементах при различных числах Маха не является чем-то новым [2; 5; 6]. На данном этапе теоретических исследований впервые предпринята попытка использовать эту особенность перестройки течения для практических целей. Таким образом, зная заранее картину внешнего обтекания дренируемых объёмов, необходимо так подобрать параметры СД, чтобы величина ССД была минимальной.

Методика расчета скорости спада давления. Массовый секундный расход \dot{G} через ДУ определялся по формуле [2]

$$\frac{dG}{dt} = \dot{G} = \mu S \sqrt{\frac{2k}{k-1} P \rho \left[\left(\frac{P_H}{P} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_H}{P} \right)^{\frac{k}{k+1}} \right]}, \quad (1)$$

где $\mu \cdot S = F_{эф}$ – эффективная площадь отверстия (m^2); $k = 1,4$; P (Па), ρ (kg/m^3) – параметры газа внутри объема, из которого истекает газ; P_H (Па) – параметры внешней среды, в которую втекает газ.

Градиент давления ССД вычислялся по зависимости [3]

$$\frac{dP}{dt} = \frac{RT}{V} k (\dot{G}_{вх} - \dot{G}_{вых}), \quad (2)$$

где $R = 287.15$ Дж / кг · К; $T = 283.15$ К; $\dot{G}_{вх}, \dot{G}_{вых}$ – массовые секундные расходы газа, поступающего и истекающего, соответственно; V (m^3) – объем, из которого вытекает газ.

Замыкает систему уравнений (1), (2) выражение для определения величины плотности газа в объеме при $T = const$ [3]

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T}. \quad (3)$$

Исходная система дифференциальных уравнений, основанная на выражениях (1), (2), (3) и описывающая процессы перетекания газа из объема в объем и в атмосферу, была представлена в виде

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = \frac{RT}{V_1} k \cdot (\dot{G}_1 - \dot{G}_{12}) \\ \frac{dP_2}{dt} = \frac{RT}{V_2} k \cdot (\dot{G}_2 + \dot{G}_{12}) \end{cases}, \quad (4)$$

где

$$\dot{G}_1 = \frac{\mu_1 \cdot S_1 \cdot P_1}{\sqrt{R \cdot T}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{P_{1H}}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_{1H}}{P_1} \right)^{\frac{k}{k+1}} \right]},$$

$$\dot{G}_2 = \frac{\mu_2 \cdot S_2 \cdot P_2}{\sqrt{R \cdot T}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{P_{2H}}{P_2} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_{2H}}{P_2} \right)^{\frac{k}{k+1}} \right]},$$

$$\dot{G}_{12} = \frac{\mu_{12} \cdot S_{12} \cdot P_1}{\sqrt{R \cdot T}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k}{k+1}} \right]}$$

Особенности алгоритма решения системы дифференциальных уравнений. Интегрирование системы дифференциальных уравнений (4) имеет некоторые особенности. В исходном положении, когда все четыре пары параметров газа в объемах V_1, V_2 и на отверстиях равны между собой ($P_1 = P_2 = P_{1H} = P_{2H}, \rho_1 = \rho_2$), перетекание масс газа не происходит. Для начала движения масс газа достаточно, чтобы хотя бы одно из значений давлений отличалось от других. Обычно это – изменение величины давления на одном из отверстий, то есть P_{1H} или P_{2H} .

Особенностью расчета данного алгоритма является то, что исходная система уравнений (4) в процессе расчета не остается в своем первоначальном виде, а может быть модифицирована.

Если на i -м шаге интегрирования давление в объеме V_1 больше, чем в объеме V_2 ($P_1 > P_2$), то алгоритм расчета происходит по выражениям (4). Физически это означает, что газ из объема V_1 перетекает в объем V_2 . Поэтому в формулах (4) для объема V_1 величина \dot{G}_{12} имеет знак «минус», а для объема V_2 – знак «плюс».

При обратной картине перетекания газа, когда $P_1 < P_2$ и газ перетекает из объема V_2 в объем V_1 , меняются не только знаки на противоположные в формулах системы (4) перед \dot{G}_{12} , но и само выражение для \dot{G}_{12} . Для этого случая оно трансформируется к следующему виду

$$\dot{G}_{12} = \mu_{12} S_{12} \sqrt{\frac{2k}{k-1} P_2 \rho_2 \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{k}{k+1}} \right]} \quad (5)$$

Аналогичной модификации подвергаются первые два уравнения системы (4), если происходит не истечение газа, а его втекание, то есть, когда $P_1 < P_{1H}, P_1 < P_{2H}$. Соответственно, меняются знаки на противоположные перед \dot{G}_1, \dot{G}_2 .

Алгоритм минимизации общего уровня ССД на данном этапе разработки методики, ввиду малого количества параметров дренирования, состоял в простом переборе значений параметров дренирования и выборе наименьшего значения ССД.

Результаты расчёта. На рис. 3 показана наиболее характерная картина значений скорости спада давления в объеме V_1 по времени t (сек) прохождения трансзвуковой зоны.

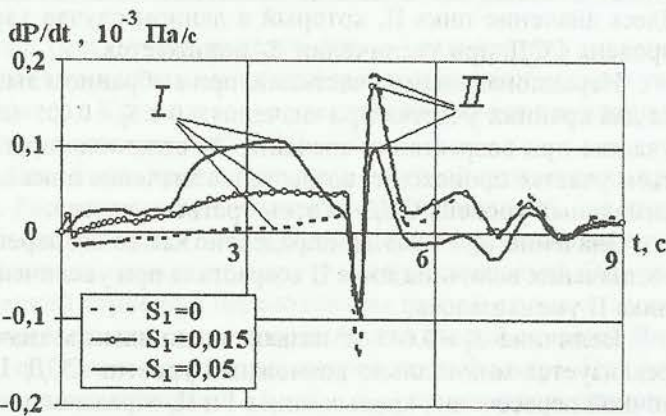


Рис. 3. Общая картина значений скорости спада давления в объеме V_1 по времени t (сек) прохождения трансзвуковой зоны при разных значениях эффективной площади S_1

При таком представлении результатов теоретических исследований сделаны следующие выводы: наблюдается два пика ССД, пик I и пик II; с помощью изменений величины S_1 можно влиять на величины пиков I и II и тем самым управлять величиной ССД; при малых значениях S_1 пик I имеет своё минимальное значение, а пик II в наибольшей степени превосходит пик I; при увеличении значений S_1 величина пика I увеличивается, а пик II уменьшается; при определенном значении S_1 величина пика I может превзойти значение пика II.

Результаты, представленные на рис. 3, были проанализированы, обработаны и представлены в более наглядном и удобном виде для проведения различного рода анализов.

Анализ влияния значений площадей S_1 , S_2 , S_{12} ДУ показал, что наибольшее влияние на величину пиков ССД оказывает значение площади S_1 . На рис. 4 представлена характерная картина зависимости пиков I и II от значения площади S_1 . При этом выбиралось: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_{12} = 1$; $S_2 = 0,2$; $S_{12} = 0,005$.

Для выработки конкретных практических рекомендаций на рис. 4 выделены три характерных участка, которые разделялись точкой перегиба и точкой пересечения. Было введено понятие рациональный, нерациональный участок, а также оптимальное значение S_1 .

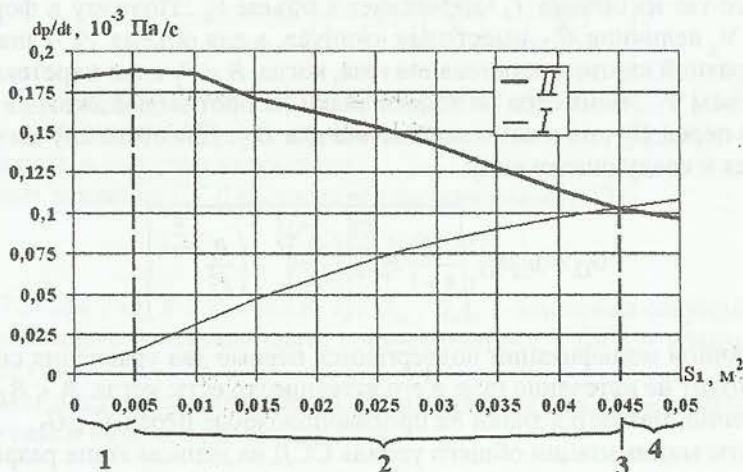


Рис. 4. Динамика изменения величины пиков I и II в зависимости от величины площади S_1

Рациональным участком на рис. 4 был назван участок, на котором при возрастании значения S_1 максимальный уровень ССД уменьшается. Это второй, средний участок, находящийся при значениях S_1 в промежутках $0,005 < S_1 < 0,045 \text{ м}^2$. Здесь значение пика II, который в данном случае характеризует максимальный уровень ССД, при увеличении S_1 понижается.

Нерациональными участками, при выбранном выше их определении являются два крайних участка при значениях $0 \leq S_1 < 0,005 \text{ м}^2$ и $S_1 > 0,045 \text{ м}^2$. На первом участке при возрастании значения S_1 величина пика II увеличивается, а на третьем участке происходит возрастание значения пика I, который и определяет максимальный уровень ССД на этом третьем участке.

Значение $S_1 = 0,005 \text{ м}^2$ определено как точка перегиба кривой пика II. До этого значения величина пика II возрастала при увеличении S_1 , после него значение пика II уменьшалось.

Величина $S_1 = 0,045 \text{ м}^2$ названа оптимальным значением S_1 , так как при этом реализуется минимально возможный уровень ССД. По своей сути она является точкой пересечения кривых пиков I и II, отражающих их равенство.

Анализ данных, представленных на рис. 4, дал основание в качестве управляющих параметров СД рекомендовать изменение значений площади S_1 . Кроме этого, значение S_2 для всех РН «Днепр» мало изменяется по отношению к штатной компоновке СД.

На рис. 5 показано влияние площади S_{12} на границы разделения участков, посредством которого происходит сообщение между объемами V_1 и V_2 .

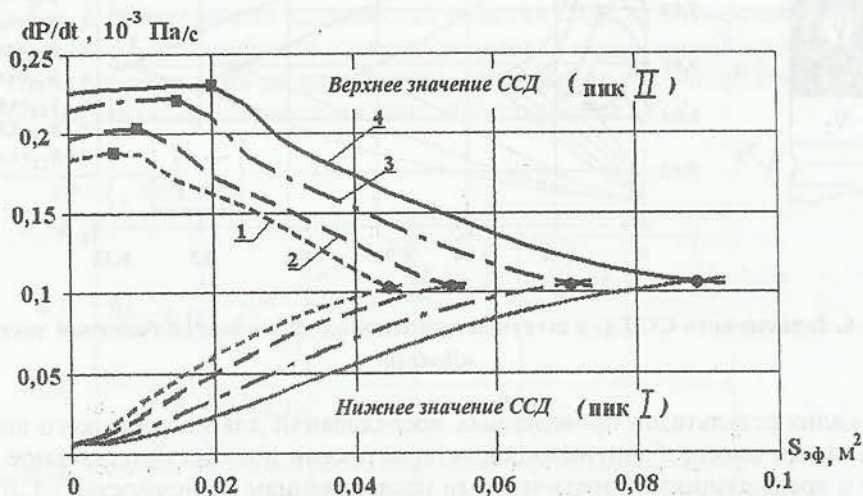


Рис. 5. Влияние на границы разделения выделенных выше участков величины площади S_{12}

На рис. 5 значком «■» обозначены точки перегиба, а значком «●» точки пересечения.

В таблице 1 даны значения S_1 для точек излома и точек пересечения в зависимости от S_{12} .

Таблица 1

Влияние на границы разделения выше выделенных участков величины площади S_{12}

| № | S_{12} , м ² | S_1 , м ² (точка перегиба) | S_1 , м ² (точка пересечения) |
|---|---------------------------|--|---|
| 1 | 0,005 | 0,005 | 0,045 |
| 2 | 0,01 | 0,01 | 0,055 |
| 3 | 0,02 | 0,015 | 0,075 |
| 4 | 0,03 | 0,02 | 0,09 |

Анализ представленных результатов показал, что с увеличением значения площади S_{12} для получения точек излома и точек пересечения, необходимо увеличивать величину площади S_1 . Кроме этого, с увеличением значения площади S_{12} , увеличивается общий уровень значений ССД.

Дальнейшие исследования были продолжены для штатной компоновки третьей ступени РН «Днепр». Рассмотрен вариант увеличения площади S_1 на конической части с малым углом конусности (до 5°). Площадь S_2 представлена группой сравнительно близко расположенных друг другу негерметичностей. Они располагаются на стыке разгонной ступени, с переходником второй ступени, люков переходника второй ступени и стыках самого переходника второй ступени. Внутреннее сообщение между объемами происходит посредством фильтра. При расчетах за значение всех дренажных площадей (S_1 , S_2 , S_{12}) принималось значение

их ефективних площадей. На рис. 6 представлені результати расчётов ССД для штатной компоновки третьей ступени РН «Днепр».

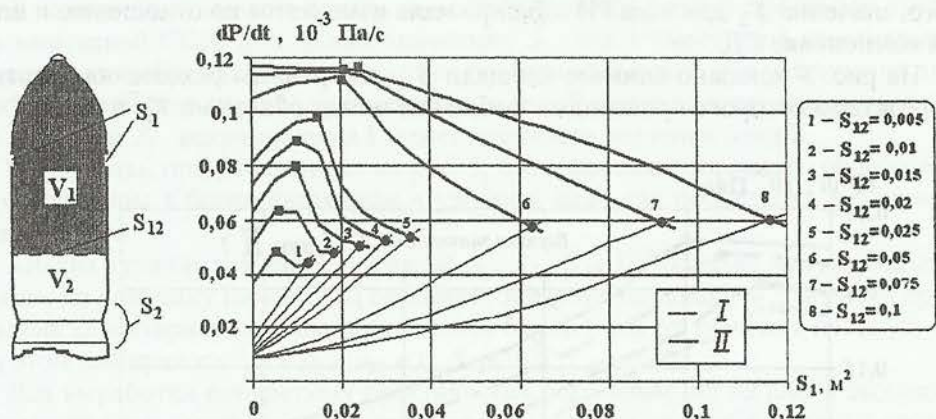


Рис. 6. Зависимости ССД для штатной компоновки космической головной части РН «Днепр»

Анализ результатов проведенных исследований для космического аппарата с заданными массогабаритными характеристиками показал качественное совпадение с предыдущими теоретическими исследованиям зависимостей ССД от параметров дренирования и наличие явно выраженных точек излома и точек пересечений.

На данном этапе теоретических исследований предпринята попытка на основе анализа многочисленных расчетов в первом приближении обобщить их результаты. В качестве обобщающих факторов было принято брать не абсолютные значения площадей, а их отношения. На рис. 7 и 8 представлены некоторые результаты обобщения проведенных исследований. На их основе можно дать оценку максимальному и минимальному уровню ССД.

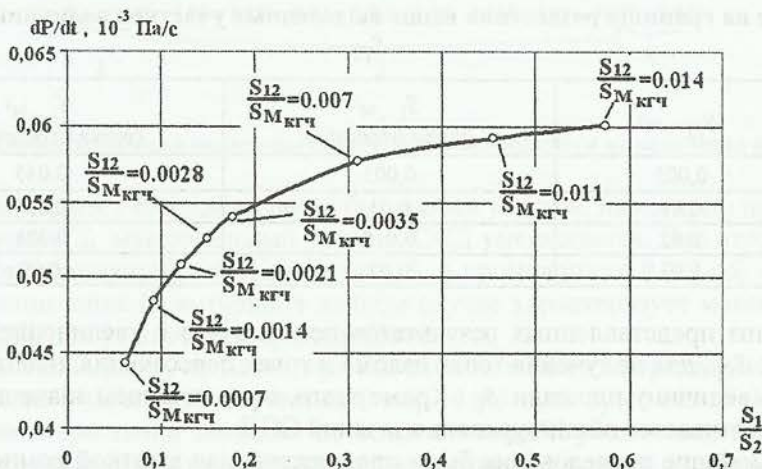


Рис. 7. Зависимость равенства пиков I и II от соотношения площадей S_1 и S_2 , при которых реализуется минимально возможный уровень ССД (равенство пиков I и II)

На рис. 7 показана зависимость величины ССД при равенстве пика I и пика II от отношения площадей S_1 к S_2 . На основании данных, представленных на этом рисунке, можно сделать предварительные выводы о том, что площадь S_1 всегда должна быть меньше площади S_2 .

Данные этого графика также показывают, какое соотношение между площадями S_1 и S_2 необходимо взять, скажем, на стадии эскизного проекта, чтобы реализовать заданный, не превосходящий определенной величины уровень ССД – минимально возможный уровень ССД. На последующих этапах проектирования параметров ДУ появляется возможность варьирования абсолютными значениями S_1 и S_2 , но их соотношение должно согласовываться с данными, приведенными на рис.7.

На рис. 8 представлена зависимость величин ССД от относительных значений площади S_{12} , отнесённой к площади миделя космической головной части $S_{МКГЧ}$. На основании этих данных можно дать оценку верхнему значению пика II – максимально возможному значению общего уровня ССД.

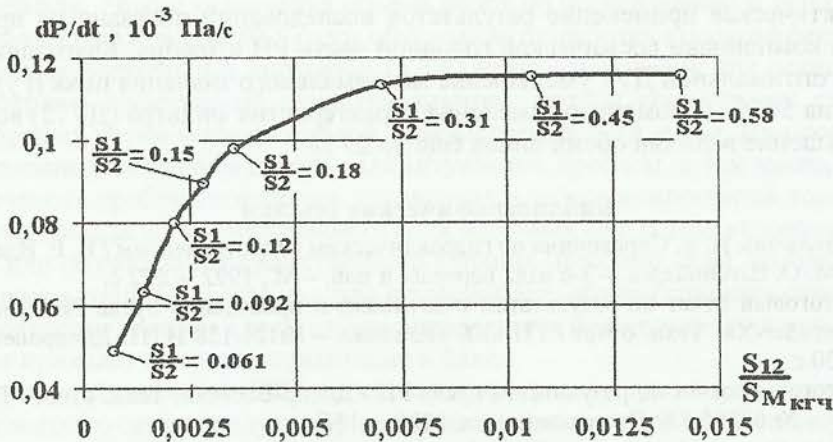


Рис. 8. Зависимость изменения характера пика II от значения эффективной площади S_{12} , отнесённой к $S_{МКГЧ}$

Выводы. Поставлена и решена задача о влиянии площадей дренажных устройств на характер изменения ССД (градиента давления) в зоне расположения КА.

1. Выявлено экспериментально [1] и подтверждено настоящими теоретическими исследованиями, что характерной особенностью ССД РН «Днепр» является наличие двух пиков на коротком промежутке времени при прохождении трансзвуковой скорости полёта РН.

2. Предложено управлять максимальными значениями ССД при помощи варьирования величиной площади S_1 .

3. Определены рациональные значения площадей ДУ1, при которых начинается уменьшение величин максимального пика II.

4. Установлено, что минимально возможный уровень величин ССД реализуется при равенстве пика I и пика II.

5. Для штатной компоновки третьей ступени РН «Днепр» с заданными массогабаритными характеристиками найдены оптимальные абсолютные значения площади дренажного устройства ДУ1, при которых реализуется минимально возможный уровень величин ССД (равенство пиков I и II).

6. Проведено обобщение результатов проведенных исследований, в результате которых оптимальные характеристики дренажных устройств представлены в виде их отношений (в безразмерном виде).

7. Соотношение рациональных параметров системы дренирования, при которых значения ССД находятся ближе к оптимальным, чем к максимальным значениям, определяется неравенством $S_{12} < S_1 < S_2$.

8. Даны соотношения параметров СД, при которых реализуются максимально возможные уровни ССД.

Практические рекомендации. На основании обобщенных результатов исследований появляется возможность предварительного выбора оптимальных соотношений характеристик ДУ без проведения расчётов на персональном компьютере.

Обобщённые результаты исследований позволяют проводить оперативную оценку изменений величин ССД при изменении параметров ДУ. Это позволяет сократить число пробных лётных испытаний и повысить эксплуатационные возможности РН «Днепр».

При оптимальных параметрах ДУ реализуется минимальный уровень ССД, благодаря которому расширяются возможности использования РН «Днепр» в качестве средства выведения КА.

Практическое применение результатов исследований показано на примере штатной компоновки космической головной части РН «Днепр». Благодаря организации оптимальной ДУ1 уменьшение максимального значения пика II удалось снизить на 50 %. С помощью изменения характеристик фильтра (ДУ12) возможно уменьшение величин обоих пиков ещё до 25 %.

Библиографические ссылки

1. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик, под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М., 1992. – 672 с.
2. Итоговый отчет по результатам подготовки и проведения пуска РН «Днепр-1» с КА «ТerraSar-X»: Техн. отчет / ГП «КБ «Южное» – №121/128 НТП: Днепропетровск, 2007. – 130 с.
3. Итоговый отчет по результатам пуска РН «Днепр-Восток». Техн. отчет / ГП «КБ «Южное» – № 60295 КБ: Днепропетровск, 2005. – 156 с.
4. Казакевич А. А. Автоколебания (помпаж) в компрессорах / А. А. Казакевич. – М., 1974. – 264 с.
5. Петров К.П. Аэродинамика ракет / К.П. Петров. – М., 1976. –136 с.
6. Семененко П. В. Исследование скорости спада давления под головным обтекателем ракеты-носителя «Днепр» / П. В. Семененко // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: «Ракетно-космічна техніка». – 2010. – Вип. 14, т. 2. – С. 161–168.

Надійшла до редколегії 29.12.2011.

УДК 532.593:541.24

К. В. Горелова

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТОПЛИВА В БАКАХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННОЙ ГРАВИТАЦИИ

Розглянуто математичну модель руху рідини в баку літального апарата, який містить капілярний розподільвач фаз у вигляді тканинної металевої сітки. Запропоновано комбінований підхід до розв'язку задачі математичного моделювання динамічних процесів палива в баках літальних апаратів в умовах зниженої гравітації.

Ключові слова: космічний літальний апарат, знижена гравітація, система забезпечення суцільності палива, капілярний сітчастий розподільвач фаз.

Рассмотрена математическая модель движения жидкости в баке летательного аппарата содержащего капиллярный разделитель фаз в виде тканной металличе-