

ниям А. В связи с этим можно предположить, что при большем объеме данных результаты обработки данных приемо-сдаточных испытаний КА «Океан-О» будут более достоверны, чем результаты имитационного моделирования. Итак, результаты обработки данных приемо-сдаточных испытаний КА «Океан-О» являются уточняющими по отношению к результатам имитационного моделирования. При увеличении объема данных об отказах КА точность восстановления и точность принятия решения методом последовательного анализа будет увеличиваться.

1. Байбуз О. Г., Приставка Ф. А. Методы оценки показателей надежности космического аппарата «Океан-О» // Проблемы обчислювальної механіки і міцності конструкцій. — Дніпропетровськ: Навчальна книга, 1998.—Т. 4.—С. 6—13.
2. Вальд А. Последовательный анализ. — М.: Гос. изд-во

физ.-мат. лит., 1960.—328 с.

3. Приставка А. Ф., Измайлова С. В. Моделирование планов испытаний для сплайн-экспоненциального распределения с двумя узлами // Комп'ютерне моделювання: Тез. докл. науч. конф., Дніпродзержинськ, 25—27 червня 1997 р. — Дніпродзержинськ: ДГТУ, 1997.—С. 50.

STRATEGY COMPARISON FOR SPACE VEHICLES' ACTIVE EXISTENCE TERMS ESTIMATION DURING PROTRACTED ACCEPTANCE TESTING

O. G. Baibuz, S. V. Zemlyanaya, F. A. Pristavka

Comparison of reliability indexes estimates of space vehicles by two computational procedures (imitation modeling and data on failures of the on-board systems during tests of manufacturer and consumer) is described. The comparison is based on the sequential analysis method.

УДК 629.76.085.5:629.764

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГНОЗИРУЕМОЙ НАГРУЗКИ В ОПОРНОМ СЕЧЕНИИ РКН «ЗЕНИТ-3SL»

© О. Э. Арлекинова, А. А. Василенко

Державне конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля

Викладено методичний підхід до розв'язування задачі надійного запуску ракет-носіїв з плавучої платформи з точки зору навантаження і міцності в рамках проекту «Морський старт». Детально викладено прийняті на основі фізичних міркувань припущення про схему розрахунку. Використана схема розрахунку дозволила досить точно визначити навантаження опорного перерізу ракети-носія, яке є найнебезпечнішим під час стоянки перед стартом.

Проект запуска космического аппарата ракетой космического назначения «Зенит-3SL» со стартовой платформы, расположенной в экваториальной зоне океана, получил название «Морской старт». Внешнее воздействие большой интенсивности, характеризующееся многообразием типов морских волн с переменными во времени амплитудами и периодами колебаний, сложный характер их взаимодействия со стартовой платформой, упругость корпусов стартовой платформы (СП) и ракеты космического назначения (РКН), наличие больших масс жидкости в топливных баках ракеты-носителя и разгонного блока и ряд других факторов чрезвычайно усложняют решение задачи. Для решения указанной задачи были введены некоторые упрощения:

- 1) ввиду различия в массах СП и РКН внешнее воздействие на РКН считается кинематическим;
- 2) стартовая платформа считается абсолютно

твердым телом, положение которого определяется шестью степенями свободы;

- 3) колебания системы РКН — СП считаются малыми.

Наметившаяся в последнее время тенденция к увеличению интенсивности внешних воздействий за счет увеличения значительной высоты волны и средней скорости ветра делает необходимым учет таких факторов, как упругость элементов конструкции РКН, подвижность компонентов в топливных баках ракеты и др. В этом случае динамическая расчетная схема является системой с бесконечным числом степеней свободы, описываемой дифференциальными уравнениями в частных производных.

Точное решение такой задачи очень сложно, поэтому рассматриваемую систему целесообразно аппроксимировать системой с конечным числом

степеней свободы. Решение этой задачи возможно различными способами, которые представляют собой те или иные формы приведения к системе с конечным числом степеней свободы.

Нами был использован способ, называемый разложением по собственным формам колебаний основной системы, который состоит в разложении деформаций системы по формам собственных колебаний и учете лишь конечного числа низших форм колебаний [1, 3]. Подобный подход к системе с конечным числом степеней свободы применим в тех случаях, когда время приложения и снятия всех внешних сил, действующих на систему, сравнимо с периодом лишь низших тонов колебаний РКН. В этом случае влияние высших тонов колебаний на величины нагрузок оказывается весьма малым и им можно пренебречь.

В случаях, когда время действия внешних нагрузок мало по сравнению с периодами низших тонов собственных колебаний системы, этот метод может стать малоэффективным вследствие необходимости учета большого числа тонов собственных колебаний РКН.

При расчете нагрузки в корневом сечении РКН приняты следующие динамические расчетные схемы.

1. При движении системы вдоль вертикальной оси (продольной оси РКН) ракета считается абсолютно твердым телом, положение которого определяется одной степенью свободы.

2. При движении системы вдоль горизонтальной и боковой осей (поперечной и боковой осей РКН) ракета считается упругим телом, положение которого определяется конечным числом степеней свободы.

РКН — пространственная конструкция с достаточно большой изгибной жесткостью, что позволяет при описании поперечных колебаний схематизировать корпус РКН в виде балки переменного поперечного сечения.

Расчеты различных вариантов нагружения элементов конструкции ракеты-носителя при ее стоянке на СП и оценка их прочности показали, что запас прочности наименьший для элементов опорного сечения ракеты, то есть прочность опорного сечения РКН может быть критерием прочности ракеты в целом для случая стоянки на СП.

Для более точного определения внешнего воздействия на РКН во время ее стоянки перед пуском было принято решение об использовании специальной системы измерений параметров движения СП, включающих в себя систему датчиков, расположенных на СП как можно ближе к стартовому столу. Это позволило использовать в расчетах не только

амплитуды параметров колебания СП, но и их фазовые характеристики. В расчетах использовались следующие параметры:

- углы наклонов СП (бортовая и килевая качка),
- угловые ускорения (бортовая и килевая качка),
- линейные ускорения СП в трех направлениях,
- направление и скорость ветра, осредненные на 2-мин интервале.

Поскольку расчеты по определению прогнозируемой нагрузки в корневом сечении должны быть проведены практически в реальном масштабе времени, расчетным путем были определены нагрузки в основании РН от единичных внешних воздействий, затем эти величины были умножены на соответствующие значения параметров качки, полученные от датчиков, просуммированы, после чего было определено значение эквивалентной нагрузки в корневом сечении. Расчет запаса прочности проведен как отношение расчетной эквивалентной осевой нагрузки к ее допустимому значению.

В случае нормального распределения эмпирическое среднее является случайной величиной, дисперсия которой зависит от числа наблюдений n и дисперсии S^2 совокупности. Показатель точности \bar{X} как оценку неизвестного параметра μ можно получить с помощью доверительного интервала. Мы будем рассматривать доверительный интервал $1 - \alpha$, в котором с вероятностью $1 - \alpha$ находится истинное значение параметра. Наиболее часто используются значения $1 - \alpha = 0.90, 0.95$ и 0.99 . Эти значения называются доверительными уровнями, соответствующими интервалу [2].

Доверительный интервал для μ вычисляется как

$$\bar{X} \pm (tdy, n - 1) \frac{S}{\sqrt{n}},$$

где \bar{X} и S определяются по n наблюдениям с помощью формул

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n,$$

$$S = \left[\frac{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}{n(n-1)} \right]^{1/2} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right]^{1/2},$$

а $tdy, n - 1$ находится из таблиц при различных значениях доверительных уровней.

Если нас интересует только верхний предел \bar{X}_B (т. е. значение, выше которого с вероятностью $1 - \alpha$ не может находиться истинное значение среднего), то формула имеет вид

$$\bar{X}_B = \bar{X} + K \cdot S,$$

где K — коэффициент толерантного предела, зави-

Таблица 1. Объем выборки для одностороннего толерантного предела

Уровень $1 - \alpha$ доверительной вероятности	Вероятность непревышения		
	0.90	0.95	0.99
0.90	22	45	230
0.95	29	59	299
0.99	44	90	459

Таблица 2. Значения коэффициента для определения одностороннего толерантного предела

Объем выборки	Вероятность непревышения		
	0.90	0.95	0.99
45	1.669	2.092	2.897
60	1.609	2.022	2.807
90	1.542	1.944	2.706
300	1.417	1.800	2.522
500	1.385	1.763	2.475
∞	1.282	1.645	2.326

сящий от количества наблюдений n и уровня доверительной вероятности.

Объем выборки для получения одностороннего толерантного предела можно получить, пользуясь

данными табл. 1.

Значения коэффициента K для определения односторонних толерантных пределов в случае нормального распределения можно получить, используя данные табл. 2 для уровня доверительной вероятности 0.95.

Данный подход нашел практическое применение при пусках ракеты-носителя «Зенит-3SL».

1. Бабаков И. М. Теория колебаний. — М.: ГИТТЛ, 1969.
2. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. — М.: Мир, 1969.
3. Шиманский Ю. А. Динамический расчет судовых конструкций. — Л.: Судпромгиз, 1963.

ESTIMATE OF PREDICTABLE LOADING ON THE BASE CROSS-SECTION OF ILV "ZENIT-3SL"

O. E. Arlekinova, A. A. Vasilenko

A methodology for solving the task of reliable launch of vehicles from the ocean platform proceeding from loading and strength within the framework of the Sea Launch Project is given. Assumptions on calculation scheme taken on the base of physical conditions are given in detail. Adopted calculation scheme allowed to estimate precisely enough a load at the launch vehicle base which is the most critical during standing before launch.

УДК 629.76.085.5:629.764

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕНИЯ РКН «ЗЕНИТ-3SL» ПРИ ЕЕ СТОЯНКЕ НА СТАРТОВОЙ ПЛАТФОРМЕ

© О. Э. Арлекинова

Державне конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля

Розглянуто задачу розрахунку навантажень на ракету-носіє при її стоянці перед стартом з плавучої морської платформи. Задача є новою і важлива для забезпечення безпечного старту, тому розглянуто три різні варіанти її розв'язування: методом максимальних параметрів, методом побудови спектру відгуку шуканого параметра навантаження та експериментальним методом з використанням показів датчиків про параметри руху стартової платформи. Найкращу кореляцію з експериментальними даними дає метод побудови спектру відгуку.

В данной статье рассмотрена задача расчета нагрузок, действующих на ракету-носитель при ее стоянке перед стартом и возникающих из-за воздействия волн на стартовую платформу, и проведено исследование результатов расчета нагрузок, полученных различными методами: методом максимальных параметров, методом построения спектра отклика изгибающего момента и эксперименталь-

ным методом с использованием показаний датчиков о параметрах колебания стартовой платформы.

Поскольку два из этих методов используют энергетический спектр колебаний поверхности моря, то рассмотрим вначале спектральный метод нахождения параметров нагружения ракеты-носителя и параметров колебания стартовой платформы в районе стартового стола.