

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ НАГРУЖЕНИЕ РКН «ЗЕНИТ-3SL» ПРИ СТОЯНКЕ ПЕРЕД ПУСКОМ

© О. Э. Арлекинова

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

Аналізуються навантаження, що діють на РКН при передстартовій підготовці під час пуску в березні 2001 р., коли при помірній висоті хвиль та слабкому вітрі було зареєстровано високий рівень навантаження РКН. Розглянуто розв'язок цього завдання як методом розрахунку прогнозованого навантаження з використанням показів давачів про параметри коливань стартової платформи, так і методом побудови спектру відгуку. Проведено аналіз зовнішнього впливу моря, представленого двовимірними енергетичними спектрами коливань поверхні моря.

Во время предстартовой подготовки РКН к пуску при определении внешнего воздействия на РКН во время ее стоянки с учетом реального состояния ветра и волн используется система определения и контроля прогнозируемой нагрузки в наиболее опасном сечении РКН. Анализ нагружения и прочности РКН элементов конструкции РКН показал, что наименьший запас прочности имеют элементы опорного сечения ракеты, поэтому нагружение этого сечения принято критерием нагружения и прочности ракеты в целом для случая стоянки на стартовой платформе. С помощью разработанной методики и программы расчета прогнозируемой нагрузки [1] производится оценка нагружения опорного сечения РКН на основе измерения пара-

метров колебания стартовой платформы, полученных при помощи системы датчиков, расположенных на платформе в районе стартового стола. Пример записи одного из параметров приведен на рис. 1.

Во время предстартовой подготовки в марте 2001 г. системой прогнозируемой нагрузки было зарегистрирован высокий уровень нагружения РКН, при этом высота волн была умеренной, а скорость ветра — слабой. Двигатели системы динамического позиционирования стартовой платформы работали в слабом режиме, не проводились ни вертолетные операции, ни операции с переходным мостиком. Увеличение нагружения РКН было обусловлено ростом колебаний платформы. Вероятно,

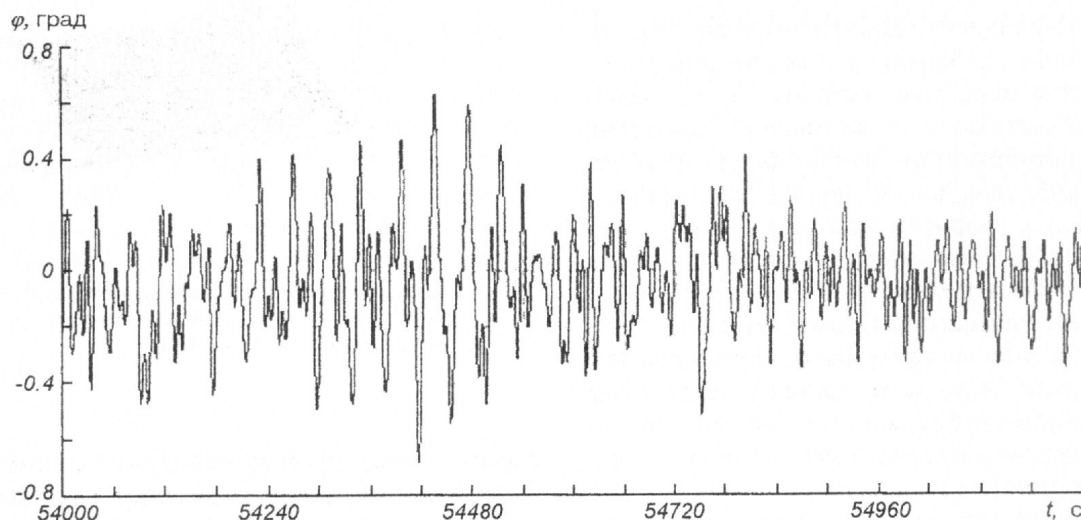


Рис. 1. Пример записи угла бортовой качки стартовой платформы

рост колебаний платформы был обусловлен внешним воздействием волн. В течение последующих нескольких часов нагружение РКН уменьшилось в среднем на 5 %, несмотря на то, что высота волны возросла на 0.2 м.

Для исследования воздействия волн на колебания стартовой платформы и нагружение РКН был проведен расчет нагружения РКН спектральным методом [2]. Параметры нагружения РКН определялись с использованием амплитудно-частотных характеристик платформы и РКН и данных о спектральном составе волнения моря, полученном с использованием данных метеорологического буя, расположенного вблизи точки старта.

В качестве исходных данных, определяющих состояние поверхности моря, использовались спектры, представляющие собой распределение спектральной плотности энергии волн в зависимости от частоты и направления прихода волн. Примеры двумерных спектров приведены на рис. 2. На графиках частоты волн гамма лежат в диапазоне от 0.01 до 0.35 Гц, азимутальный угол  $\varphi$  изменяется от 0 до 360° относительно севера. Вдоль вертикальной оси откладывается значение спектральной плотности энергии, соответствующее данной частоте и направлению, в процентах от максимального значения спектральной плотности энергии для данного спектра.

При расчетах спектральным методом в качестве параметра нагружения выбрано значение изгибающего момента в основании РКН. Расчеты были проведены для каждого часа из восьми часов перед пуском. Результаты расчета показали, что в течение первых четырех часов среднее значение изгибающего момента, отнесенного к высоте волны, было на 10 % выше, чем для последующих четырех часов.

В то же время следует отметить, что абсолютное значение изгибающего момента в основании РКН, рассчитанное спектральным методом, с течением времени не уменьшалось, а оставалось примерно постоянным. Этот результат может быть объяснен тем фактом, что спектры являются результатом осреднения данных, зафиксированных буюм в течение 20 мин, поскольку известно, что сила волнения остается практически неизменной 15–20 мин [4], однако эти данные выдаются только один раз в час. При расчетах с помощью системы контроля прогнозируемой нагрузки были использованы параметры колебания СП, регистрируемые постоянно, что позволило более точно оценить изменение нагружения РКН во времени.

При постоянных значениях частоты волн и их направления параметры колебания стартовой плат-

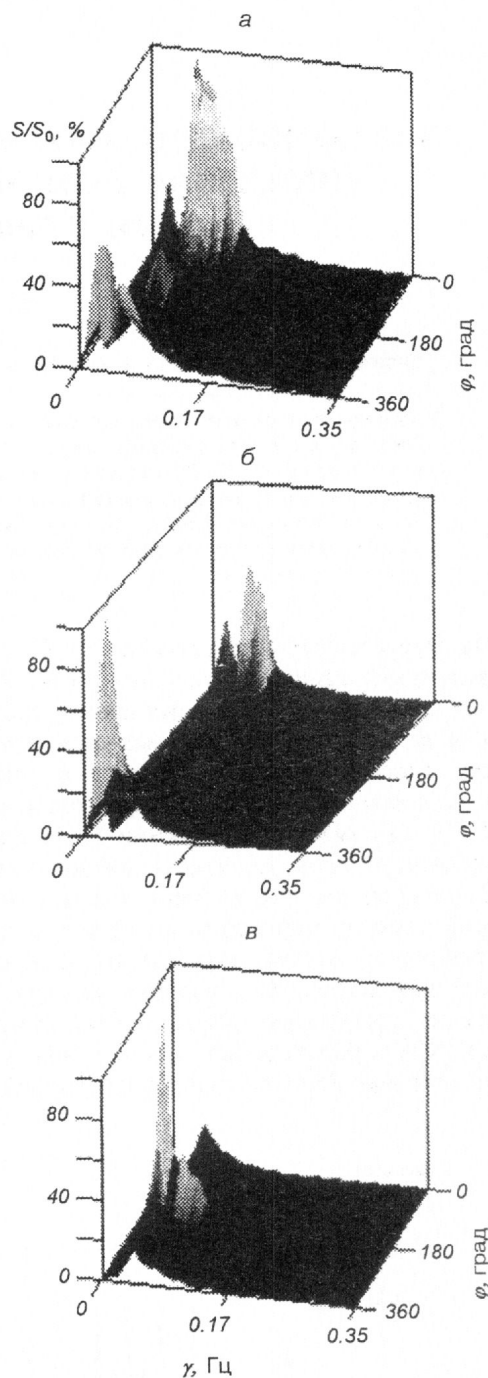


Рис. 2. Волновой энергетический спектр: а — за 8 часов до пуска в марте 2001 г., б — за 4 часа до пуска в марте 2001 г., в — во время пуска в марте 1999 г.

формы прямо пропорциональны высоте волн. Как было указано выше, при расчетах спектральным методом значение изгибающего момента, отнесенного к высоте волн, уменьшилось примерно за

четыре часа до пуска. Рассмотрим более подробно волновые спектры, описывающие состояние моря для случаев различного нагружения РКН.

На рис. 2, а представлен спектр, соответствующий состоянию моря за восемь часов до пуска, когда уровень нагружения РКН был высок. В спектре наиболее выражены пики, соответствующие частотам 0.11, 0.09 и 0.05 Гц. Максимум энергии приходился на волны с частотой 0.09 Гц, спектральная плотность энергии волн с частотой 0.11 Гц составляла 93 %, а волн с частотой 0.05 Гц — 56 % от значения спектральной плотности энергии волн с частотой 0.09 Гц. При этом угол прихода волн с частотой 0.11 Гц к продольной оси СП составлял 35 градусов, волн с частотой 0.09 Гц — 60°, а волн с частотой 0.05 Гц — 100°. Таким образом, углы прихода волн к продольной оси СП не были близки к 0°, что привело к росту бортовой качки. Также известно, что наличие волновых систем с близкими частотами является причиной биений и группового строения волн [3], в нашем случае это частоты 0.09 и 0.11 Гц, что также приводит к увеличению качки стартовой платформы.

На рис. 2, б приведен спектр, соответствующий состоянию моря четыре часа спустя. В спектре явно выражены пики, соответствующие двум частотам — 0.10 и 0.05 Гц. При этом угол прихода волн с частотой 0.10 Гц к продольной оси СП составлял 20°, а волн с частотой 0.05 Гц — 100°. За четыре часа до пуска стали преобладать волны с частотой 0.05 Гц. Значение спектральной плотности энергии волн с частотой 0.10 Гц составляла около 60 % от значения их спектральной плотности энергии. Преобладание низкочастотных волн привело к снижению угловых ускорений колебания стартовой платформы, а соответственно и к снижению нагружения РКН, несмотря на большой угол прихода этих волн к оси платформы.

Для сравнения также рассмотрен спектр состояния поверхности моря во время запуска первого КА, когда достигался примерно тот же уровень нагружения РКН, однако высота волны была на 0.2 м выше. Соответствующий спектр приведен на рис. 2, в. В данном спектре есть две явно выраженных частоты — преобладающая частота 0.06 Гц и

частота 0.10 Гц, спектральная плотность энергии которой составляет 45 % от значения спектральной плотности энергии преобладающей частоты. Угол прихода волн к продольной оси стартовой платформы для волн с частотой 0.10 Гц составил 10°, а для волн с частотой 0.06 Гц — 60°. Таким образом, видно, что преобладали волны более низкой частоты, и углы прихода волн были меньше, чем при пуске в марте 2001 г., что также способствовало уменьшению колебаний платформы и снижению нагружения РКН.

Таким образом, анализ внешнего воздействия моря показал, что к основным причинам и факторам, определившим изменение колебаний стартовой платформы и приведшим к увеличению нагружения РКН можно отнести следующие:

- наличие волновых систем с близкими частотами;
- преобладание волн с более высокой частотой;
- большой угол прихода волн к продольной оси стартовой платформы.

1. Арлекинова О. Э., Василенко А. А. Определение прогнозируемой нагрузки в корневом сечении РКН «Зенит-3SL» // Космічна наука і технологія. Додаток.—2001.—7, № 1.—С. 18—20.
2. Арлекинова О. Э. Исследование параметров нагружения РКН «Зенит-3SL» при ее стоянке на стартовой платформе // Космічна наука і технологія. Додаток.—2001.—7, № 1.—С. 20—22.
3. Крылов Ю. М., Стрекалов С. С., Цыплухин В. Ф. Ветровые волны и их воздействие на сооружения. — Л.: Гидрометиздат, 1976.
4. Смирнов Г. И. Океанология. — М.: Высшая школа, 1987.

#### STUDY OF ENVIRONMENT PARAMETERS THAT DETERMINE ILV «ZENIT-3SL» LOADING DURING STANDING BEFORE LAUNCH

O. Arlekinova

This article analyses loads on the ILV in prelaunch operations during the launch on March 2001, when high load level was monitored under conditions of moderate wave height and low wind velocity. Two options for solving this task are examined: the experimental method of predicted load calculation using the data from sensor indications, and the method of building a response spectrum. Sea environment is analyzed using 2-dimensional wave energy spectra.