

УДК 619.7.018.4

Б. Р. Феденко, С. М. Онищенко, С. И. Ерофеев

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКЕ ПУСКОВОГО СТОЛА

Одной из задач этапа экспериментальной отработки пускового стола является подтверждение его прочностных характеристик. Испытания пускового стола проводятся после его изготовления и после сборки на месте эксплуатации, а также (при необходимости) на протяжении всего периода эксплуатации. Выбор способа нагружения осуществляется с учетом стоимостных факторов и возможности обеспечения требуемых условий нагружения. Рассмотрены два способа создания требуемой испытательной нагрузки: при помощи грузов соответствующей массы (имитаторов нагрузки) или специальных (имеющих меньшую массу по сравнению с имитаторами нагрузки) устройств. Приведены описания, основные характеристики, достоинства и недостатки наборных и наливных грузов и устройства нагружения стола. В данной статье рассмотрено устройство нагружения стола. Такое устройство позволяет проводить статические неразрушающие испытания пускового стола с целью проверки его прочности после изготовления и на протяжении всего периода эксплуатации. Устройство состоит из силового каркаса, гидравлической системы, элементов фиксации, системы управления и системы измерений. К преимуществам использования устройства нагружения стола можно отнести: низкую материалоемкость, невысокую стоимость по сравнению с наборными грузами (при больших значениях нагрузки), возможность обеспечения требуемых режимов приложения (снятия) испытательной нагрузки, возможность индивидуального контроля нагружения каждой опоры пускового стола, а также непродолжительность проведения испытаний, возможность использовать для испытаний пусковых столов других ракетных комплексов с меньшим или таким же значением испытательной нагрузки. Таким образом, устройство нагружения стола позволяет реализовать требуемые значения испытательной нагрузки, имея при этом значительно меньшие габариты и массу по сравнению с наборными грузами и большие функциональные возможности по сравнению с наливными грузами. Небольшие габаритные размеры и удобство эксплуатации позволяют уменьшить количество необходимого персонала и оборудования.

Ключевые слова: груз для испытаний, испытательная нагрузка, устройство нагружения.

Одним із завдань етапу експериментального відпрацювання пускового стола є підтвердження його міцнісних характеристик. Випробування пускового стола здійснюють після його виготовлення та після складання на місці експлуатації, а також (якщо є потреба) протягом усього періоду експлуатації. Вибір способу навантаження здійснюють, ураховуючи вартісні фактори та можливість забезпечувати необхідні умови навантаження. Розглянуто два способи створення необхідного випробувального навантаження: за допомогою вантажів відповідної маси (імітаторів навантаження) або спеціальних (з меншою порівняно з імітаторами навантаження масою) пристроїв. Наведено описи, основні характеристики, переваги і недоліки набірних і наливних вантажів і пристрою навантаження стола. У цій статті розглянуто пристрій навантаження стола. Такий пристрій дозволяє проводити статичні неруйнівні випробування пускового стола з метою перевірки його міцності після виготовлення та протягом усього періоду експлуатації. Пристрій складається з силового каркаса, гідравлічної системи, елементів фіксації, системи керування та системи вимірювань. До переваг використання пристрою навантаження стола можна віднести: низьку матеріаломісткість, невисоку вартість порівняно з набірними вантажами (за великих значень навантаження), можливість забезпечувати необхідні режими прикладання (зняття) випробувального навантаження, можливість індивідуального контролю навантаження кожної опори пускового стола, високу мобільність, а також нетривалість проведення випробувань, можливість використовувати для випробувань пускових столів інших ракетних комплексів з меншим або таким самим значенням випробувального навантаження. Отже, пристрій навантаження стола дозволяє реалізувати необхідні значення випробувального навантаження за значно менших габаритів і маси порівняно з набірними вантажами і більших функціональних можливостей порівняно з наливними вантажами. Невеликі габаритні розміри та зручність експлуатації зменшують кількість необхідного персоналу й устаткування.

Ключові слова: вантаж для випробувань, випробувальне навантаження, пристрій навантаження.

One of the tasks of the development tests conducted on a launch pad is verification of its strength properties. The tests are carried out after the launch pad was manufactured and assembled on-site as well as during the whole operating period (if necessary). Load mode was chosen in consideration of cost and possibility of providing the required loading conditions. Two modes of creating the required test load were examined:

usage of weights with corresponding mass (load simulators) or special devices (which have smaller mass as compared with load simulators). The descriptions, basic characteristics, advantages and disadvantages of composite and bulk weights and pad loading device are given. This article studies the pad loading device under development. This device enables to conduct static nondestructive tests on the launch pad in order to check its strength after manufacturing and during the whole operating period. The device consists of the load-bearing frame, hydraulic system, locks, control system and measurement system. Advantages of the pad loading device include low materials consumption, low cost in comparison with composite weights (with large load values), provision of the required modes for applying and removing the test load, controlled separate loading of each support of the launch pad, high mobility, short duration of testing, possibility of using launch pads of other rocket complexes with lower or equal test load values for testing. Therefore, the pad loading device enables to achieve the required test load values while having considerably smaller dimensions and mass as compared with composite weights and bigger functional possibilities as compared with bulk weights. Small overall dimensions and operability reduce the number of needed personnel and equipment.

Keywords: weight for testing, test load, loading device.

Введение

Одной из задач этапа экспериментальной отработки (ЭО) пускового стола (ПС) является подтверждение его прочностных характеристик. Испытания ПС проводятся после его изготовления, после сборки на месте эксплуатации, а также (при необходимости) на протяжении всего периода эксплуатации. При испытаниях к ПС прикладывают испытательную нагрузку, которая превышает эксплуатационную на значение, определяемое нормативными документами [1]. Эксплуатационная нагрузка в основном состоит из стартового веса ракеты космического назначения (РКН) и ветровой нагрузки, действующей на РКН во время стоянки на ПС.

Выбор способа нагружения осуществляется с учетом следующих факторов:

- стоимости оборудования для проведения испытаний, стоимости его доставки к месту проведения испытаний и эксплуатации;
- возможности обеспечения требуемых условий нагружения (по значению испытательной нагрузки, ее допустимым отклонениям, характеру и длительности приложения нагрузки).

Можно выделить два способа создания требуемой испытательной нагрузки:

- 1) создание испытательной нагрузки при помощи грузов соответствующей массы (имитаторов нагрузки) [2];
- 2) создание испытательной нагрузки при помощи специальных (имеющих меньшую массу, чем имитаторы нагрузки) устройств [3].

Имитаторы нагрузки

Имитаторы нагрузки могут быть выполнены в виде наборных грузов, состоящих из отдельных элементов фиксированной массы и конструкции, их объединяющей. Наборные грузы изготавливаются, как правило, из стали (чугуна) или бетона (железобетона). Пример наборного груза массой 525 т, установленного на ПС с габаритами 6,1×6,1×1,5 м, приведен на рис. 1.

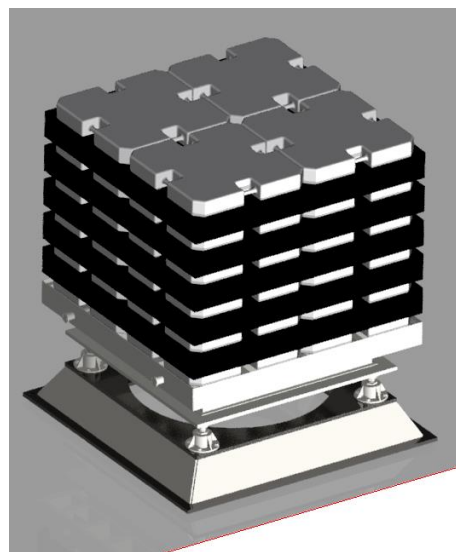


Рис. 1. Наборный груз

Кроме того, возможно применение наливных или насыпных грузов, состоящих из материалов, обеспечивающих необходимую массу (с учетом массы емкости): воды или имеющихся в месте проведения испытаний сыпучих материалов (песка, гравия и т. п.). Пример емкости для наливного груза объемом 500 м³, установленного на ПС с габаритами 6,1×6,1×1,5 м, представлен на рис. 2.

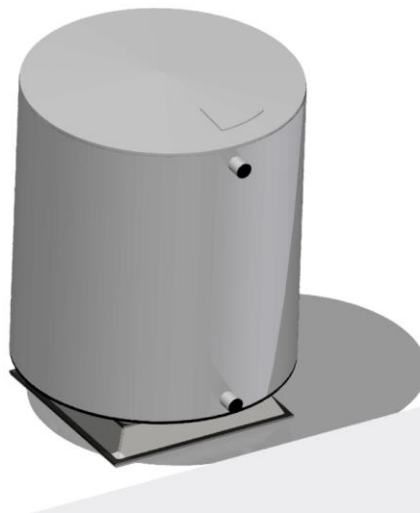


Рис. 2. Емкость для наливного груза

Имитаторы нагрузки при ЭО применяются достаточно широко и имеют как преимущества, так и недостатки.

Преимущества и недостатки имитаторов нагрузки

К преимуществам наборных грузов можно отнести возможность изготовления из недорогих материалов, а также многолетний опыт применения, что упрощает работу.

Недостатками применения наборных грузов являются:

- высокая материалоемкость и стоимость грузов (при необходимости обеспечить стабильность характеристик и большое значение нагрузки), большие затраты на перевозку;
- необходимость изготовления с высокой точностью согласно назначенному допуску;
- необходимость наличия больших производственных площадей для хранения и обслуживания;
- необходимость в грузоподъемном оборудовании высокой грузоподъемности;
- длительность и трудоемкость работ при проведении испытаний (время установки и снятия наборных грузов на ПС);
- отсутствие возможности контролируемо нагружать каждую опору ПС индивидуально.

Преимуществами наливных (насыпных) грузов в отличие от наборных являются меньшие стоимость, трудоемкость и дли-

тельность работ, а также возможность использования серийно производимых емкостей с отработанной технологией монтажа и доставки их на место эксплуатации в разобранном виде.

Недостатками применения наливных (насыпных) грузов являются:

- потребность в наличии большой площади для монтажа емкости;
- потребность в сборочном оборудовании;
- потребность в размещении грузоподъемного оборудования;
- потребность в создании системы заполнения (опустошения) емкости, позволяющей имитировать требуемый процесс нагружения;
- потребность в проведении дополнительных коммуникаций;
- потребность в источнике воды или сыпучих материалов;
- ограничения по температуре эксплуатации (для наливных грузов);
- отсутствие возможности контролируемо нагружать каждую опору ПС индивидуально.

Специальные устройства

Специальные устройства при нагружении применяются реже, поскольку дополнительно требуется разработка этого оборудования, что, на первый взгляд, кажется невыгодным с финансовой точки зрения и с точки зрения сроков разработки проекта. Тем не менее при подробном рассмотрении особенностей применения специальных устройств в ЭО ПС можно выделить значительное число достоинств, которые не только позволяют уйти от проблем, связанных с применением имитаторов нагрузки, но и делают процесс проведения испытаний более гибким.

Устройство нагружения стола

В данной статье представлено устройство нагружения стола (УНС). Принципиальный вид УНС, установленного на ПС с габаритами 6,1×6,1×1,5 м, представлен на рис. 3. УНС позволяет проводить статические неразрушающие испытания ПС

с целью проверки его прочности после изготовления и испытания на протяжении всего периода эксплуатации ПС. УНС состоит из силового каркаса 3, гидравлической системы 2, элементов фиксации 1, системы управления и системы измерений.

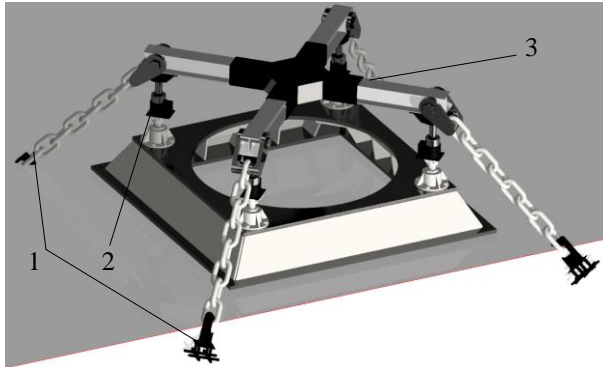


Рис. 3. Устройство нагружения стола

При монтаже гидроцилиндры УНС устанавливаются вертикально на опоры ПС для стояния РКН. На верхнюю часть гидроцилиндров устанавливается силовой каркас, который крепится к закладным элементам, расположенным в бетонной конструкции стартового сооружения (СС). Гидроцилиндры объединены в единую гидравлическую систему. При помощи насоса в гидросистеме создается давление, под действием которого гидроцилиндры создают нагрузку на опоры ПС. Нагрузка и ее распределение между гидроцилиндрами (и соответствующими опорами ПС) регулируются системой управления путем обработки данных, полученных от системы измерений.

Преимущества и недостатки УНС

К преимуществам использования УНС можно отнести:

- низкую материалоемкость;
- невысокую стоимость по сравнению с наборными грузами (при больших значениях нагрузки);
- возможность применения серийно производимых комплектующих;
- возможность обеспечения требуемых режимов приложения (снятия) испытательной нагрузки;
- возможность контролируемо индивидуально нагружать каждую опору ПС;

- высокую мобильность, а также непродолжительность и низкую трудоемкость работ при проведении испытаний;
- возможность использовать для испытаний ПС других ракетных комплексов с меньшим или таким же значением испытательной нагрузки.

Недостатком является необходимость разработки нового оборудования и увязки УНС с СС: введение в конструкцию СС закладных элементов, позволяющих удерживать УНС на ПС при реализации требуемых значений испытательной нагрузки.

Сравнение имитаторов нагрузки и УНС

В таблице приведены характеристики имитаторов нагрузки и УНС, позволяющие реализовать нагрузку в 5 150 кН. В указанной стоимости наливного груза не учтены стоимости заливаемого материала и его доставки к месту проведения испытаний, а также создания системы наполнения (опустошения) емкости. В указанной стоимости УНС не учтена стоимость введения в конструкцию СС закладных элементов для удержания УНС.

Все предложенные устройства по шкале уровней готовности технологий имеют уровень готовности TRL 3 [4].

Характеристики имитаторов нагрузки и УНС

Характеристика	Наборный груз	Наливной груз	УНС
Реализуемая нагрузка, кН	5 150	5 150	5 150
Масса, т	525	525*	20
Высота, м	5,40	9,25	1,50
Ширина, м	6,00	8,45	6,40
Стоимость, млн грн	~80	~4	~4

* С учетом массы емкости.

Выводы

Применение имитаторов нагрузки не позволяет осуществить индивидуальный контроль нагружения каждой опоры ПС.

Наборные грузы имеют высокую материалоемкость и стоимость и требуют применения техники с высокой грузоподъемностью.

Наливные грузы требуют проведения монтажа, проверки целостности и тарирования емкости на месте проведения испытаний.

Применение УНС позволит:

– реализовывать требуемые значения испытательной нагрузки, имея при этом значительно меньшие габаритные размеры и массу по сравнению с наборными грузами и большие функциональные возможности по сравнению с наливными грузами;

– уменьшить количество необходимого персонала и оборудования;

– индивидуально контролировать нагрузку каждой опоры ПС, а также испытывать ПС с меньшей или такой же испытательной нагрузкой.

Таким образом, УНС позволяет значительно ускорить, упростить и удешевить ЭО ПС, тем самым ускоряя срок окупаемости проекта.

Список использованной литературы

1. ISO 14625:2007. Space systems – Ground support equipment for use at launch, landing or retrieval sites. – General requirement. – Введен 01.11.2007. – 32 с.

2. Пат. RU2491211 РФ МПК В64G 5/00, В64G 7/00, F42B 15/00. Грузовой макет ракетносителя/ Днепротяжмаш. – Оpubл. 27.08.2013. – 12 с.

3. Пат. RU2173747 РФ E02D 33/00. Способ статического испытания свай и устройство для статического испытания свай/ НПСФ "Фундаментспецстрой". – Оpubл. 20.09.2001. – 10 с.

4. ISO 16290:2013. Space systems - Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment. – Введен 14.10.2013. – 20 с.

Статья поступила 12.07.2018