

УДК 621-192(035)

doi: 10.18698/0536-1044-2019-8-45-50

Оценка технического состояния силовых металлоконструкций стартовых комплексов космодрома Плесецк

Л.В. Эртман, М.Ю. Ерофеев

Научно-исследовательский институт космических систем им. А.А. Максимова — филиал АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»

Evaluation of the Technical Condition of Power Structures of Launch Complexes at the Cosmodrome Plesetsk

L. V. Ertman, M. Y. Erofeev

Space Systems Research and Development Institute named after A.A. Maksimov — Branch of AO Khrunichev State Research and Production Space Center

Рассмотрены вопросы обследования и оценки технического состояния силовых металлоконструкций систем и агрегатов стартовых комплексов космодрома Плесецк. Проведен анализ особенностей эксплуатации металлоконструкций на стартовых комплексах этого космодрома и основных типов дефектов, возникающих в металлоконструкциях. Описаны методы и средства неразрушающего контроля, применяемые при обследовании металлоконструкций и их соединений, позволяющие выявлять дефекты на ранних стадиях развития. Это дает возможность своевременно спланировать и принять меры по их устранению и снизить риск внезапного отказа систем и агрегатов. Приведены практические примеры результатов обследования с использованием методов и средств неразрушающего контроля металлоконструкций систем и агрегатов стартовых комплексов 17П32 и 14П25.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, обследование металлоконструкций, стартовый комплекс, эксплуатация металлоконструкций

The article deals with the issues of inspection and evaluation of the technical condition of power metal structures of systems and units of the launch complexes at the cosmodrome Plesetsk. An analysis of specific features of operation of metal structures at the cosmodrome's launch complexes and the main types of defects occurring in these structures is carried out. The methods and means of non-destructive testing used in the inspection of the metal structures and assemblies are described. These methods can help to identify defects at the early stages of development, plan and take timely measures to eliminate the defects and reduce the risk of sudden failures of the systems and units. The article provides practical examples of the survey results using the methods and means of non-destructive testing of metal structures of systems and units of the launch complexes 17P32 and 14P25.

Keywords: non-destructive testing, inspection of metal structures, launch complex, maintenance of metal structures

Металлоконструкции, являющиеся одним из основных элементов систем и агрегатов (СИА) стартовых комплексов (СК) космодрома Плесецк,

представляют собой конструкции (балки, фермы, колонны и др.), связанные сварными, болтовыми и заклепочными соединениями. Техническое со-

стояние силовых металлоконструкций определяет работоспособность агрегатов 11Т11, СМ575, 8У0216М, 8У0215, 11У219 СК 17П32, а также 11У211Р, 11У28Р, КС-65ПР СК 14П25.

Цель работы — анализ снижения рисков внезапных отказов металлоконструкций СИА СК космодрома Плесецк, эксплуатируемых за пределами гарантийных сроков, путем выявления дефектов на ранних стадиях развития с применением методов и средств неразрушающего контроля (НК).

Специалисты Научно-исследовательского института космических систем им. А.А. Максимова с 2009 г. при проведении полугодичного и годового технических обслуживаний, ревизий, ремонтно-восстановительных работ, при продлении ресурса и срока службы, устранении неисправностей, а также при подготовке и выполнении штатных работ обследуют и оценивают техническое состояние СИА стартовых и технических комплексов, а также заправочной станции космодрома Плесецк с применением методов и средств НК [1].

Материалы и методы. Основными особенностями эксплуатации металлоконструкций на СК космодрома Плесецк являются:

- длительный срок эксплуатации (для некоторых СИА превышающий 50 лет);
- воздействие различных факторов внешней среды (температуры, влажности, ветровых нагрузок), газодинамической струи при штатной работе, статических и динамических (знакопеременных) нагрузок;
- важная роль в технологическом процессе функционирования СК;
- большие материальные и временные затраты на восстановление при отказе.

В процессе изготовления, монтажа и эксплуатации металлоконструкций могут возникать различные дефекты, влияющие на работоспособность и срок службы СИА.

К основным видам дефектов металлоконструкций относятся:

- трещины (усталостные, термические, коррозионные и др.);
- коррозия (равномерная, неравномерная, избирательная, пятнами, питтинговая, язвенная, сквозная, нитевидная, межкристаллитная, подповерхностная, ножевая, коррозионное растрескивание, коррозионная хрупкость);
- деформации;
- нарушение целостности лакокрасочного покрытия;

- изменение механических свойств (охрупчивание);
- дефекты сварных швов, болтовых и заклепочных соединений;
- утонения.

Для своевременного выявления дефектов металлоконструкций проводят обследования, используя следующие методы НК:

- визуальный — органолептический контроль, осуществляемый органами зрения;
- измерительный — контроль, осуществляемый с помощью средств измерений [2];
- ультразвуковой — основанный на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых и (или) возникающих в контролируемом объекте;
- твердометрия металла — метод, позволяющий определить твердость поверхностного слоя металла;
- магнитопорошковый — базирующийся на притяжении частиц магнитного порошка силами неоднородных магнитных полей, возникающих над дефектами на поверхности намагниченных деталей, изготовленных из ферромагнитных материалов; метод предназначен для обнаружения дефектов в виде поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности [3];
- капиллярный — основанный на использовании эффекта капиллярного проникновения жидкости, смачивающей материал контролируемого изделия, в полости дефектов и регистрации образующихся индикаторных рисунков.

Для обеспечения указанных методов НК применяют следующие средства НК:

- видеоэндоскоп VE 100;
- лазерные дальнометры Leica DISTO D5, Leica DISTO D3;
- ультразвуковые дефектоскопы А1220 Анкер, А1212 Мастер Профи;
- монтажное зеркало 1РК-390G;
- измеритель влажности воздуха Testo 625;
- измеритель напряженности магнитного поля ИМП-6;
- индикатор глубины коррозии типа ИГК;
- комплект для визуального и измерительного контроля типа ВИК, в состав которого входят карманный фонарик, маркер по металлу, измерительную рулетку длиной 5 м, металлическую измерительную линейку L-300, штангенциркуль ШЦ I-150-0,05 с глубиномером, угольник поверочный 160×100, универсальные шаблоны сварщика УШС-3 и УШС-2 (шаблон катетов швов), измерительная лупа ЛИЗ-10х, наборы щупов № 2 и 3, радиусный шаблон № 2

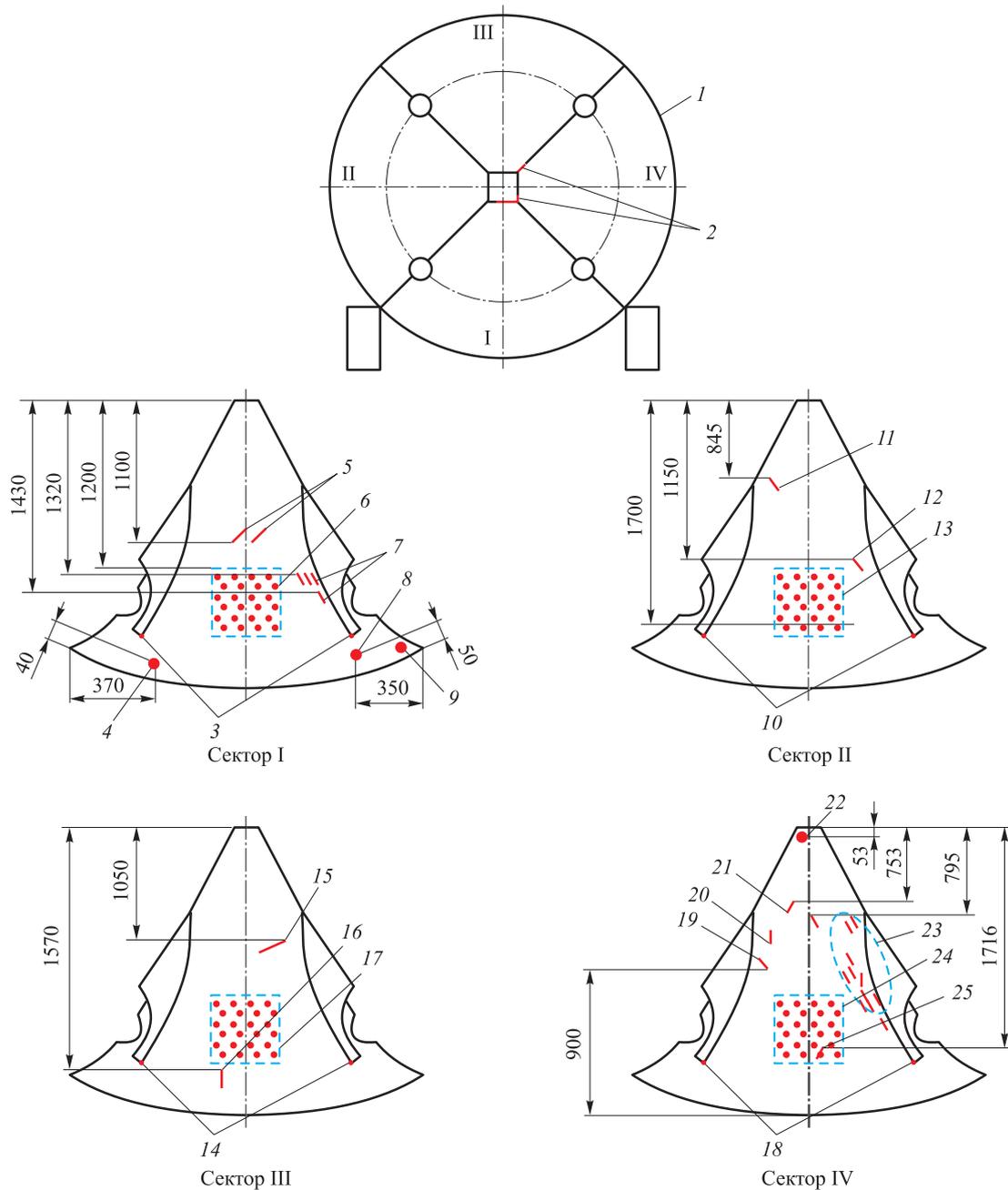


Рис. 1. Схема расположения дефектов газоотражателя агрегата 11У28Р.0801:

1 — газоотражатель агрегата 11У28Р.0801; 2 — подрезы сварного шва (протяженностью 75 мм); 3, 10, 14, 18 — трещины сварного шва (протяженностью до 25 мм); 4 — вмятина (размером 18,5×20×1,2 мм); 5 — забоины (5×20×4 мм); 6, 13, 17, 24 — зоны максимального газодинамического воздействия (локального уноса (стекания) металла щитов газоотражателя с образованием бугристой поверхности на площади ~600×560 мм в зонах максимального теплового воздействия и скоростного напора газовых струй блока ускорителей); 7 — забоины (20×4×0,7 мм); 8 — вмятина (30×30×4 мм); 9 — вмятина (10×15×2 мм); 11 — забоина (32×3,2×0,4 мм); 12 — забоина (20×1,5×3 мм); 15 — вмятина (40×15×1 мм); 16 — забоина (41×7,6×3 мм); 19 — забоина (30×10×3 мм); 20 — забоина (10×3×1,5 мм); 21 — забоина (32×3,4×0,8 мм); 22 — вмятина (20×19×1 мм); 23 — забоины (до 20×4×2 мм); 25 — забоина (42×3,2×1 мм)

(8...25 мм), радиусный шаблон № 1 (1...6 мм), лупы ЛПП 1-7х и ЛПП 1-2,5х);
 – комплект стандартных образцов для калибровки ультразвуковых дефектоскопов КОУ-2-СО-2 и КОУ-3-СО-3;
 – контрольный образец для магнитопорошковой дефектоскопии (сталь 20);

– люксметр Testo 540;
 – набор для магнитопорошкового контроля YM5 Kit;
 – набор для цветной дефектоскопии Helling (очиститель, проявитель, пенетрант емкостью 500 мл каждый);
 – набор для цветной дефектоскопии Magnaflux;

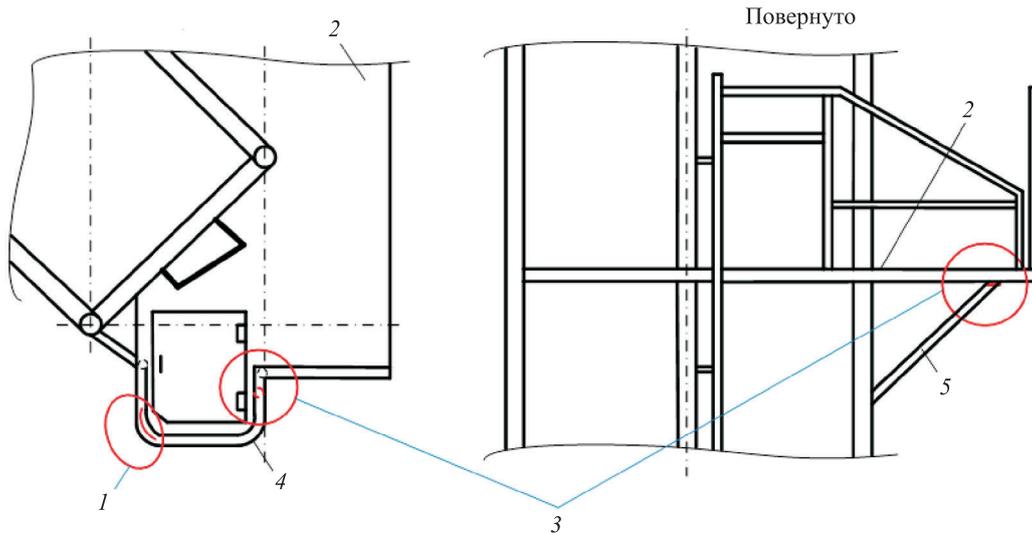


Рис. 2. Схема расположения дефектов на площадке № 2 колонны левой агрегата 11Т11Б:

1 — сквозное коррозионное повреждение 110×10 мм трубы 0802-11 на сгибе снизу; 2 — площадка № 2; 3 — сквозная трещина 20×1 мм сварного шва крепления подкоса 0802-7; 4 — труба 0802-11; 5 — подкос 0802-7

– набор контрольных образцов для цветной дефектоскопии второго класса чувствительности;

– портативный измеритель шероховатости TR 100;

– стандартные образцы предприятия (СОП): плоские, с одной зарубкой 8, 10 и 12 мм; СОП в соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов ПБ 03-585-03; СОП согласно руководящему документу РД РОСЭК 001–96;

– твердомеры МЕТ-УДА, NOVOTEST Т-УД2;

– термоанометр Testo 405 v1;

– ультразвуковые толщиномеры УТ 301, А1208, А1209;

– электромагнитно-акустический толщиномер А1270;

– эндоскоп Testo 319.

При обследовании металлоконструкций особое внимание уделяют состоянию силовых элементов и элементов, работающих в наиболее напряженных условиях, а именно местам:

• наиболее вероятного возникновения усталостных трещин (концентраторам местных напряжений), к которым относятся:

– участки резкого изменения поперечного сечения;

– окончания накладок, ребер (проушин);

– отверстия с необработанными кромками, прожженные, заваренные;

– пересечения сварных швов и их окончания, начало и окончание прерывистых швов;

– перепады в толщинах стыкуемых элементов;

– участки, прорезанные шпоночными или шлицевыми канавками, а также имеющие нарезанную резьбу;

– узлы прикрепления раскосов, стоек, диагоналей, связей косынок к поясам;

• с внешними косвенными признаками наличия трещин (с потеками ржавчины, шелушением краски и т. п.);

• расположения сварных швов (особенно ремонтных и местам повторной заварки трещин в сварных швах или по основному металлу);

• подвергшимся повреждениям или ударам;

• с повышенной коррозией и износом [4].

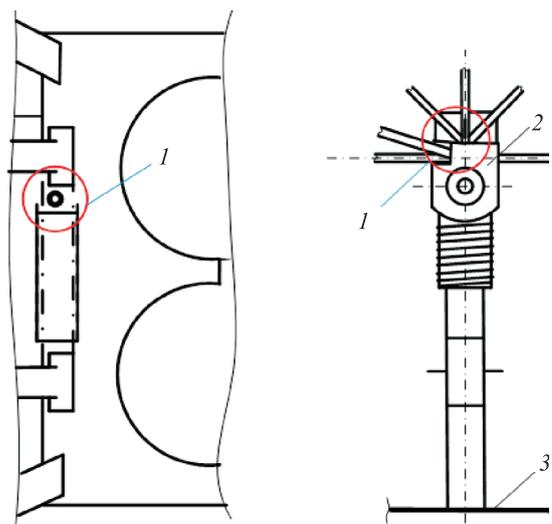


Рис. 3. Схема расположения дефекта на нижней площадке агрегата 11Т11Б:

1 — трещина сварного шва длиной 15 мм; 2 — кронштейн; 3 — нижняя площадка

Результаты обследования металлоконструкций. Примеры дефектов металлоконструкций, выявленных специалистами Научно-исследовательского института космических систем им. А.А. Максимова при обследовании СИА, приведены на рис. 1–3 [5, 6]. Согласно результатам измерения, толщина в точках 6, 13, 17 и 24 (см. рис. 1) составила соответственно 10,4; 12,1; 11,4 и 9,2 мм при номинальной толщине щита $S_{\text{ном}} = 16$ мм; а утонения — 6,7 мм (42 %)

Вывод

Обследования металлоконструкций СИА СК космодрома Плесецк позволяют:

- выявить дефекты (повреждения, неисправности), образовавшиеся в процессе эксплуатации;
- оценить техническое состояние металлоконструкций СИА;
- классифицировать дефекты в соответствии с ГОСТ 15467–79 [7] по их влиянию на использование агрегата по назначению, его долговечность и безопасную эксплуатацию;
- уточнить причины дефекта и условия его возникновения и развития, оценить влияющие факторы;
- своевременно спланировать и принять меры по устранению дефекта.

Литература

- [1] Типовая программа обследования и оценки технического состояния СИА СК 17П32 с использованием методов и средств НК. Юбилейный, НИИ КС, 2016. 68 с.
- [2] РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. Москва, Гостехнадзор, 2004. 101 с.
- [3] Шелихов Г.С., Глазков Ю.А. Магнитопорошковый контроль. Москва, ИД «Спектр», 2011. 183 с.
- [4] Типовая методика проведения визуального и измерительного контроля и оценки технического состояния элементов систем и агрегатов войсковой части 13991. Юбилейный, НИИ КС, 2016. 69 с.
- [5] Технический отчет-заключение № 293/17/990/14П25 о техническом состоянии СИА СК 14П25 по результатам обследования методами и средствами НК при проведении годового технического обслуживания. Юбилейный, НИИ КС, 2017. 175 с.
- [6] Технический отчет-заключение № 279/17/990/17П32-С4 о техническом состоянии СИА СК 17П32-С4 по результатам обследования методами и средствами НК при проведении полугодового технического обслуживания. Юбилейный, НИИ КС, 2017. 157 с.
- [7] ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. Москва, Стандаргинформ, 1979.

References

- [1] *Tipovaya programma obsledovaniya i otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya SIA SK 17P32 s ispol'zovaniyem metodov i sredstv NK* [A typical program of examination and evaluation of the technical condition of SIA SK 17P32 using the methods and means of NK]. Yubileynyy, NII KS publ., 2016. 68 p.
- [2] *RD 03-606-03 Instruksiya po vizual'nomu i izmeritel'nomu kontrolyu* [RD 03-606-03 Instructions for visual and measurement control]. Moscow, Gostkhnadzor publ., 2004. 101 p.
- [3] *Shelikhov G.S., Glazkov Yu.A. Magnitoporoshkovyy kontrol'* [Magnetic particle control]. Moscow, ID «Spektr» publ., 2011. 183 p.
- [4] *Tipovaya metodika provedeniya vizual'nogo i izmeritel'nogo kontrolya i otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya elementov sistem i agregatov voyskovoy chasti 13991* [Typical methods of carrying out visual and measuring control and assessment of the technical condition of the elements of systems and components of military unit 13991]. Yubileynyy, NII KS publ., 2016. 69 p.
- [5] *Tekhnicheskij otchet-zaklyucheniye no. 293/17/990/14P25 o tekhnicheskom sostoyanii SIA SK 14P25 po rezul'tatam obsledovaniya metodami i sredstvami NK pri provedenii godovogo*

tekhnicheskogo obsluzhivaniya [Technical report-conclusion no. 293/17/990 / 14P25 on the technical condition of the SIA SK 14P25 according to the results of the survey using the methods and means of the NC during the annual maintenance]. Yubileynyy, NII KS publ., 2017. 175 p.

[6] *Tekhnicheskii otchet-zaklyucheniye no. 279/17/990/17P32-S4 o tekhnicheskoy sostoyanii SIA SK 17P32-S4 po rezul'tatam obsledovaniya metodami i sredstvami NK pri provedenii polugodovogo tekhnicheskogo obsluzhivaniya* [Technical report-conclusion no. 279/17/990/17P32-C4 on the technical condition of the SIA SK 17P32-C4 according to the results of a survey using the methods and means of ND when conducting semi-annual maintenance]. Yubileynyy, NII KS publ., 2017. 157 p.

[7] *State Standard 15467-79. Product-quality control. Basic concepts. Terms and definitions*. Moscow, Standartinform publ., 1979.

Статья поступила в редакцию 28.03.2019

Информация об авторах

ЭРТМАН Леонид Викторович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-технического центра. Научно-исследовательский институт космических систем им. А.А. Максимова — филиал АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» (141091, Королёв, Московская область, Российская Федерация, мкрн. Юбилейный, ул. М.К. Тихонравова, д. 27, e-mail: ertman@list.ru).

ЕРОФЕЕВ Михаил Юрьевич — аспирант, главный научный сотрудник. Научно-исследовательский институт космических систем им. А.А. Максимова — филиал АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» (141091, Королёв, Московская область, Российская Федерация, мкрн. Юбилейный, ул. М.К. Тихонравова, д. 27, e-mail: trasimatza@mail.ru).

Information about the authors

ERTMAN Leonid Viktorovich — Candidate of Science (Eng.), Senior Researcher, Head of Research and Development Center. Space Systems Reseach and Development Institute named after A.A. Maksimov — Branch of AO Khrunichev State Research and Production Space Center (141091, Korolev, Moscow region, Russian Federation, Yubileiniy District, Tikhonravov St., Bldg. 27, e-mail: ertman@list.ru).

EROFEEV Mikhail Yurievich — Postgraduate, Lead Researcher. Space Systems Reseach and Development Institute named after A.A. Maksimov — Branch of AO Khrunichev State Research and Production Space Center (141091, Korolev, Moscow region, Russian Federation, Yubileiniy District, Tikhonravov St., Bldg. 27, e-mail: trasimatza@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Эртман Л.В., Ерофеев М.Ю. Оценка технического состояния силовых металлоконструкций стартовых комплексов космодрома Плесецк. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 8, с. 45–50, doi: 10.18698/0536-1044-2019-8-45-50

Please cite this article in English as:

Ertman L.V., Erofeev M.Y. Evaluation of the Technical Condition of Power Structures of Launch Complexes at the Cosmodrome Plesetsk. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 8, pp. 45–50, doi: 10.18698/0536-1044-2019-8-45-50