

УДК 612.072.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОСМОНАВТОВ В РАЗНЫХ ТЕСТАХ

Н.Ю. Лысова, К.С. Киреев, В.А. Бессонова, Т.Б. Кукоба

Канд. биол. наук Н.Ю. Лысова (ГНЦ РФ – ИМБП РАН,
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Канд. мед. наук К.С. Киреев; В.А. Бессонова; канд. пед. наук, доц. Т.Б. Кукоба
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье представлены результаты апробирования новой методики оценки физической работоспособности космонавтов в тесте на велоэргометре с регистрацией параметров газообмена. Результаты тестирования космонавтов сопоставлены с результатами, полученными в тесте PWC-170. Определены и сопоставлены с данными, представленными в научной литературе, значения максимального потребления кислорода и порога анаэробного обмена у восьми космонавтов.

Ключевые слова: космонавт, физическая работоспособность, максимальное потребление кислорода, эргоспирометрия, порог анаэробного обмена

Comparative Analysis of Cosmonauts' Physical Performance Level in Various Tests. N.Yu. Lysova, K.S. Kireev, V.A. Bessonova, T.B. Kukoba

The paper presents the results of testing a new methodology to assess cosmonauts' physical performance during a test on the cycle ergometer along with recording the gas exchange parameters. The results of cosmonauts' testing have been compared with the results that had been obtained during the PWC-17 test. The values of maximal oxygen consumption and anaerobic metabolism threshold for eight cosmonauts were determined and compared with the data given in the scientific literature.

Keywords: cosmonaut, physical performance, maximal oxygen consumption, ergospirometry, anaerobic metabolism threshold

Космический полет (КП) оказывает существенное влияние на уровень физической работоспособности космонавтов. Было показано, что в течение первых двух недель КП уровень аэробных возможностей снижается на 15–20 % [1, 2]. Основным показателем, определяющим уровень аэробных возможностей и физической работоспособности в целом, является максимальное потребление кислорода (МПК). МПК – это интегральный показатель характеризующий потребление кислорода всем организмом и отражающий аэробную производительность [3].

Существует несколько видов спортивных тестирований, позволяющих косвенно определить МПК. В спортивной практике применяются тест

PWC-170 и тестирование со ступенчато-возрастающей нагрузкой с использованием метода эргоспирометрии. Тест PWC-170 позволяет определить уровень физической работоспособности за счет линейной интер- или экстраполяции по двум нагрузкам небольшой мощности [4].

Тестирование со ступенчато-возрастающей нагрузкой с применением метода эргоспирометрии позволяет сделать заключение о взаимодействии систем дыхания, кровообращения и обмена веществ в широком диапазоне нагрузок – от минимальных до максимальных. Кроме того, тестирование со ступенчато-возрастающей нагрузкой позволяет оценить аэробно-анаэробный переход или порог анаэробного обмена (ПАНО) – один из основных показателей уровня физической работоспособности человека [5].

В настоящее время в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (ЦПК) уровень физической работоспособности космонавтов определяется расчетным методом по результатам теста PWC-170. Партнерами по Международной космической станции (МКС) разработано и утверждено тестирование астронавтов по оценке уровня физической работоспособности, которое регламентировано документом MEDB 4.1 (MEDB 4.1 Cycle Ergometer Test/Aerobic Functional Capacity) [6]. Данное тестирование ранее на базе ЦПК не проводилось.

Цель исследования – провести сравнительный анализ показателей кардиореспираторной системы космонавтов на этапе подготовки к КП, полученных разными методами (прямым и расчетным).

Для достижения поставленной цели нами были решены следующие задачи:

1. Сравнение значений МПК, полученных в тестированиях PWC-170 и MEDB 4.1.
2. Сравнение показателей, полученных различными методами определения ПАНО в тесте MEDB 4.1.
3. Определение уровня физической работоспособности космонавтов.

Методика

Исследование проводилось на базе ЦПК. В исследовании приняли участие восемь космонавтов отряда космонавтов: 7 мужчин, 1 женщина. 7 космонавтов имели опыт КП. Средний возраст космонавтов составил $41,8 \pm 5,7$ лет, средняя масса тела – $79,1 \pm 8,7$ кг. Все космонавты, принимавшие участие в эксперименте, по состоянию здоровья были допущены к исследованию, имели действующее заключение врачебно-экспертной комиссии. Протокол исследования был одобрен комиссией по биомедицинской этике ЦПК. В соответствии с Хельсинской декларацией все космонавты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Для определения МПК космонавты выполнили по два теста на велоэргометре Cybex C8000. Первым проводился тест PWC-170 по методике

В.Л. Карпмана [4]. Данный тест представляет собой две ступени нагрузки длительностью по 5 мин, между которыми предусмотрена пауза 3 мин. Величина мощности первой ступени нагрузки определялась в зависимости от массы тела космонавта и его уровня физической подготовленности [4].

Через 5–7 дней проводился второй тест MEDB 4.1: космонавты выполняли тест со ступенчато-возрастающей нагрузкой в соответствии с протоколом, представленным в табл. 1, с использованием метода эргоспирометрии; тест выполняли до субъективного максимума [6].

Таблица 1

Протокол теста MEDB 4.1 с использованием эргоспирометрии

Нагрузка, Вт	Время ступени, мин	Общее время тестирования, мин
Покой	3	3
50	3	6
75	1	7
100	1	8
125	1	9
150	1	10
175	1	11
200	1	12
225	1	13
250	1	14
275	1	15
300	1	16
325	1	17
350	1	18
375	1	19
400	1	20
Восстановление	5	25

Регистрация параметров газообмена проводилась с использованием метаболога COSMED Fitmate (Италия) методом breath-by-breath.

Регистрировались следующие параметры газообмена: потребление кислорода (VO_2 , мл/мин/кг), легочная вентиляция (VE , л/мин) и частота сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин). Для обработки записи использовали медианный фильтр.

В тестировании MEDB 4.1 выполнялось определение ПАНО. Для подтверждения надежности определения ПАНО, ввиду отсутствия определения уровня лактата крови, нами было использовано два метода его определения: V-slope (показатель VO_2/VE) [7] и графический метод (по значениям ЧСС) [8].

Обработка результатов исследования выполнена в программе «Statistica-10» с использованием общепринятых методов математической статистики. Для каждого из исследуемых показателей рассчитывали среднее значение и стандартное отклонение. Оценка достоверности различий показателей, полученных в разных тестах, осуществлялась на основе расчетов непараметрического U-критерия Манна – Уитни (Mann – Whitney U test).

Результаты и обсуждение

Сравнение значений МПК, полученных в тестах PWC-170 и MEDB 4.1, показало, что в тесте PWC-170 среднее значение МПК составило $47,8 \pm 5,2$ мл/мин/кг, по результатам теста MEDB 4.1 – $45 \pm 6,8$ мл/мин/кг. Таким образом, значения МПК, полученные разными методами, значимо не отличались, однако при этом индивидуальные значения имели существенные различия (рис. 1).

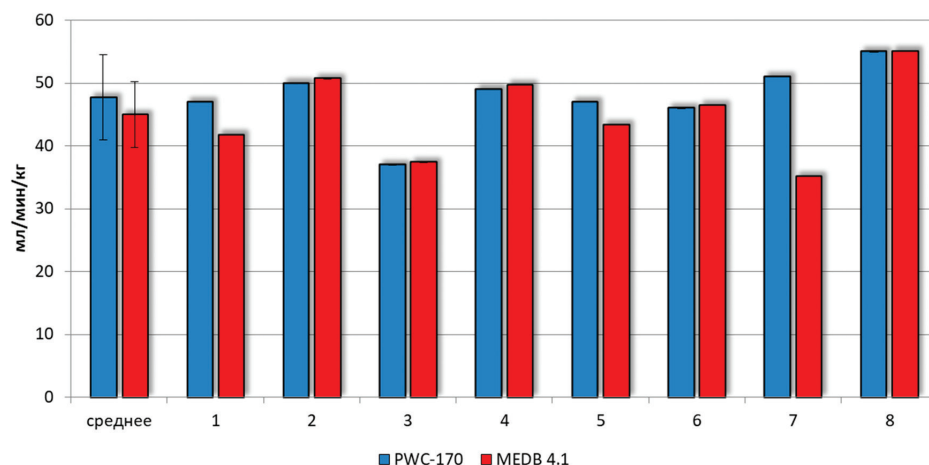


Рис. 1. Значения МПК космонавтов, полученные в тестах PWC-170 и MEDB 4.1

У троих (1, 5, 7) космонавтов из восьми значения МПК, полученные в тесте PWC-170, превышали значения МПК, полученные в тесте MEDB 4.1 на 8,3–44,3 %. У пяти космонавтов показатели МПК практически не различались.

Наши данные согласуются с данными других исследователей, показавших высокую корреляцию между результатами теста PWC-170 и теста, определяющего максимальное потребление кислорода [4, 9, 10].

Полученные результаты позволяют предположить, что для определения уровня физической работоспособности космонавтов можно рекомендовать применение обоих тестирований – MEDB 4.1 и PWC-170. Выполнение теста MEDB 4.1 позволяет определить ответ сердечно-сосудистой и дыхательной системы на всех этапах нагрузки, а также выявить вентиляционные пороги,

что говорит о его высокой информативности. При этом результаты, полученные в данном тестировании, зависят от мотивации, индивидуальных особенностей и т. д. В тоже время проведение менее нагрузочного теста PWC-170 позволяет снизить влияние этих факторов на результат.

Далее проводилось сравнение показателей, полученных различными методами определения ПАНО в тесте MEDB 4.1. Проведено сопоставление значений на уровне ПАНО легочной вентиляции, потребления кислорода и ЧСС.

Достоверных различий в значениях легочной вентиляции на ПАНО, который был определен двумя методами, выявлено не было, при этом среднее значение легочной вентиляции при определении ПАНО методом V-slope составило $57,7 \pm 8$ л/мин, при определении графическим методом – $60,5 \pm 8,7$ л/мин (рис. 2).

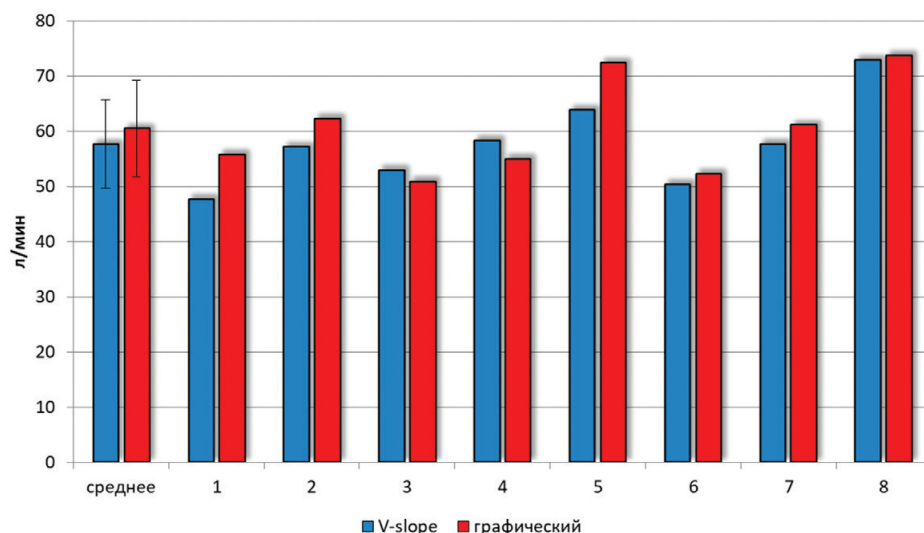


Рис. 2. Значение легочной вентиляции на ПАНО, определенном V-slope и графическим методами

В среднем разница в легочной вентиляции на ПАНО составила 5,1 %, при этом диапазон индивидуальных значений находился от 5,7 до 17 %. У пяти космонавтов (1, 2, 5, 6, 7) значения легочной вентиляции, определенные графическим методом, были выше по сравнению с методом V-slope; у двух (3 и 4) – ниже; у космонавта 8 значения, полученные двумя разными методами, практически не отличались.

Значение потребления кислорода на ПАНО, полученном двумя методами, также значимо не отличалось (рис. 3) и показало в среднем: V-slope – $2127,5 \pm 357$ мл/мин; графический метод – $2097,8 \pm 348,4$ мл/мин.

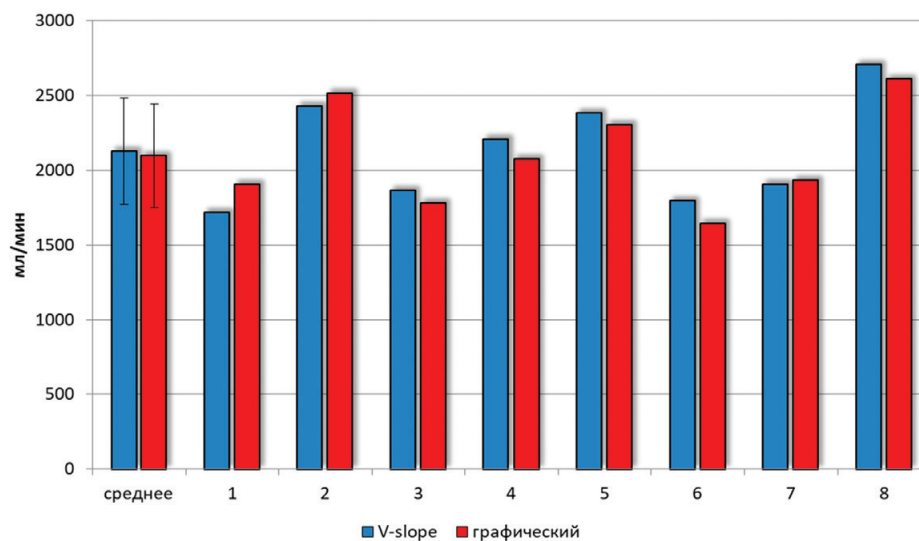


Рис. 3. Значение потребления кислорода на ПАНО, определенном V-slope и графическим методами

В среднем разница потребления кислорода на уровне ПАНО, полученного двумя разными методами, составила 1,4 %, при этом индивидуальные значения находились в диапазоне от 8,3 до 11 %. В данном показателе у трех космонавтов (1, 2, 7) значения, определенные графическим методом, были выше по сравнению с методом V-slope, и у пяти (3, 4, 5, 6, 8) – ниже.

Значимых различий показателя по ЧСС на ПАНО, определенном двумя методами, также выявлено не было. Среднее значение составило: V-slope – $142 \pm 11,4$ уд/мин; графическим методом – $142,6 \pm 9,9$ уд/мин (рис. 4).

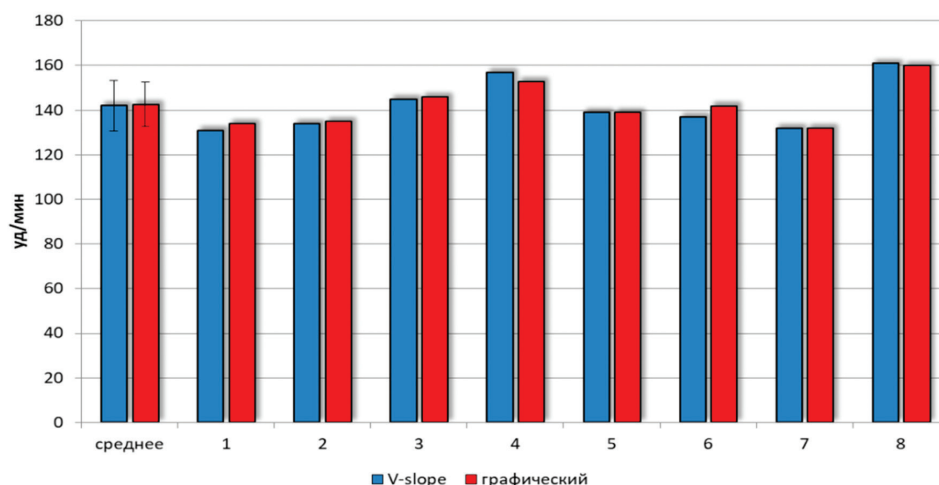


Рис. 4. Значение ЧСС на ПАНО, определенном V-slope и графическим методами

В среднем разница ЧСС, полученная с помощью двух методов, составляла менее 1 %, при этом индивидуальные значения находились в диапазоне от 2,5 до 3,6 %. У пяти космонавтов разница в значениях ЧСС, полученных разными методами, не выявлена.

Таким образом, значения ПАНО и показатели на уровне ПАНО, полученные с помощью используемых методов, оказались близки. Что подтверждает правильность нахождения активации анаэробных механизмов энергообеспечения мышечной деятельности и дает возможность определения ПАНО даже в случае ошибки в записи параметров газообмена или ЧСС.

Результаты исследования сопоставили с данными партнеров по МКС и средними популяционными данными.

В среднем уровень МПК космонавтов-испытателей соответствует требуемому минимальному уровню МПК в КП, представленному в стандарте NASA-STD-3001 [11] (табл. 2).

Таблица 2

**Требуемый минимальный уровень МПК в полете
и рекомендации по МПК до КП**

Предполагаемое среднее потребление кислорода во время ВКД (мл/мин/кг)	Минимальное значение МПК в полете (мл/мин/кг)	Рекомендованный предполетный уровень МПК (при условии снижения на 15 %) (мл/мин/кг)	Рекомендованный предполетный уровень МПК (при условии снижения на 25 %) (мл/мин/кг)
9,87	32,9	38,7	43,8

Однако у одного космонавта значение МПК в тесте MEDB 4.1 составило 35,2 мл/мин/кг, в то время как в тесте PWC-170 – 61,8 мл/мин/кг. Такое различие может быть связано с недостаточной мотивацией и прекращением выполнения теста MEDB 4.1 задолго до наступления субъективного максимума «отказа».

Средние значения МПК космонавтов, полученные двумя различными методами, соответствуют значениям молодых здоровых людей с нормальным уровнем физической активности (табл. 3). При этом у троих космонавтов значения МПК соответствуют значениям физически активных людей с высоким уровнем физической активности [5].

Таблица 3

**Средние значения показателей в тесте MEDB 4.1,
характеризующие аэробную работоспособность космонавтов**

Показатели	МПК, л/мин	МПК, мл/мин/кг	Легочная вентиляция, л/мин	ЧСС, уд/мин
$\bar{X} \pm \sigma$	$3,5 \pm 0,07$	$44,8 \pm 6,6$	146 ± 23	181 ± 11

Полученные в исследовании значения МПК ненормированного на вес тела в среднем составили 3,5 л/мин, что несколько выше значений (3,16 л/мин),

полученных в предполетных тестированиях астронавтов в работе [1]. Среднее значение легочной вентиляции на ПАНО у космонавтов (146 ± 23 л/мин) в нашем исследовании также превышало результаты, полученные в предполетных тестированиях у астронавтов ($111,0 \pm 5$ л/мин). Кроме того, максимальное значение ЧСС в нашем исследовании (181 ± 11 уд/мин) также было выше, чем у астронавтов (175 ± 2 уд/мин) [1].

Стоит отметить, что средние значения потребления кислорода на ПАНО, также как и МПК, соответствуют значениям молодых здоровых людей с нормальным уровнем физической активности, при этом у трех космонавтов данный показатель соответствует значениям людей с высоким уровнем физической активности [5].

Выводы

1. Значения МПК, полученные в тестах PWC-170 и MEDB 4.1, значительно не отличались. Однако анализ индивидуальных значений МПК выявил большие разбросы, указывающие на то, что расчетный метод в тесте PWC-170 не может заменить метод эргоспирометрии в тесте MEDB 4.1. Полученные результаты обуславливают возможность применения обоих методов определения МПК, так как в зависимости от индивидуальных особенностей, мотивации и параметров тестирования полученные значения могут существенно отличаться. В то же время проведение обоих тестирований позволяет получить более полную картину о состоянии физической работоспособности космонавтов.

2. Показатели легочной вентиляции, потребления кислорода и ЧСС на уровне ПАНО в тесте MEDB 4.1 значительно не отличались при использовании двух методов его определения (V-slope (VO_2/VE) и графического). Потребление кислорода на уровне ПАНО у всех космонавтов соответствует возрастной физиологической норме.

3. МПК космонавтов на этапе подготовки к КП соответствует возрастной физиологической норме и укладывается в нормативные требования, согласно документу NASA-STD-3001. Высокий уровень физической работоспособности на момент исследования выявлен у трех из восьми космонавтов, у остальных – соответствовал людям молодого возраста с нормальным уровнем физической активности.

4. Полученные данные необходимо учитывать в процессе физической подготовки космонавтов к КП. Результаты определения уровня физической работоспособности рекомендуется применять для коррекции тренировочного процесса с целью оптимизации функционального состояния кардиореспираторной системы на всех этапах подготовки космонавтов к КП.

Работа выполнена в рамках НИР «Максимум-4».

Авторы выражают искреннюю благодарность космонавтам, принявшим участие в данном исследовании.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Peak Exercise Oxygen Uptake During and Following Long-Duration Spaceflight / A.D. Moore [et al.] // *Journal of Applied Physiology*. – 2014. – Vol. 117, No 3. – P. 231–238.
2. Moore, A.D. The First 10 Years of Aerobic Exercise Responses to Long-Duration ISS Flights / A.D. Moore, P.A. Lynn, A.H. Feiveson // *Aerospace Medicine and Human Performance*. – 2015. – Vol. 86, No 12. – P. A78–A86.
3. Buttar, K.K. A Review: Maximal Oxygen Uptake (VO_2 max) and its Estimation Methods / K.K. Buttar, N. Saboo, S. Kacker // *International Journal of Physical Education, Sports and Health*. – 2019. – Vol. 6, No 6. – P. 24–32.
4. Карпман, В.Л. Тестирование в спортивной медицине / В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков. – Москва: Физкультура и спорт, 1988. – 208 с.
Karpman, V.L. Testing in Sports Medicine / V.L. Karpman, Z.B. Belotserkovsky, I.A. Gudkov. – Moscow: Physical Culture and Sport, 1988. – 208 p.
5. Попов, Д.В. Аэробная работоспособность человека / Д.В. Попов, О.Л. Виноградова, А.И. Григорьев. – Москва: Наука, 2012. – 117 с.
Popov, D.V. Human Aerobic Performance / D.V. Popov, O.L. Vinogradova, A.I. Grigoriev. – Moscow: Nauka, 2012. – 117 p.
6. SSP 50667. Medical Evaluation Documents (MED) Vol. B: Pre Flight, in Flight, and Post Flight Medical Evaluation Requirements for long-Duration ISS Crewmembers. – 2016.
7. Respiratory Gas Exchange Indices for Estimating the Anaerobic Threshold / G. Solberg [et al.] // *Journal of Sports Science & Medicine*. – 2005. – Vol. 4, No 1. – P. 29.
8. Метод определения анаэробного порога по динамике ЧСС в процессе работы и восстановления при выполнении теста нарастающей мощности до отказа / А.В. Козлов [и др.] // *Физиология человека*. – 2019. – Т. 45, № 2. – С. 78–86.
A Method for the Evaluation of Anaerobic Threshold Based on Heart Rate Dynamics During Incremental Exercise Test and Recovery / A.V. Kozlov [et al.] // *Human Physiology*. – 2019. – Vol. 45, No 2. – P. 78–86.
9. Klusiewicz, A. The Usefulness of PWC-170 in Assessing the Performance Determined on a Rwing Ergometer / A. Klusiewicz, J. Faff, R. Zdanowicz // *Biology of Sport*. – 1997. – Vol. 14. – P. 127–134.
10. Сравнительный анализ информативности эргометрических и функциональных показателей работоспособности / В.Д. Сонькин, В.В. Зайцева, М.В. Бурчик, И.А. Корниенко // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 1997. – Т. 31, № 6. – С. 28–33.
Comparative Analysis of the Information Value of Ergometric and Functional Parameters of Performance / V.D. Sonkin, V.V. Zaitseva, M.V. Burchik, I.A. Kornienko // *Aerospace and Environmental Medicine*. – 1997. – Vol. 31, No 6. – P. 28–33.
11. Williams, Richard S. NASA Space Flight Human-System Standard Volume 1, Revision A: Crew Health // National Aeronautics and Space Administration, NASA Technical Standards., Washington, DC, 2015. – URL: https://standards.nasa.gov/sites/default/files/standards/NASA/B/Historical/2014_07-30_NASA-STD-3001-Vol-1-Rev-A_published.pdf