

УДК 629.7.084

**МОДЕЛЬ РЕСУРСООЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ
РАКЕТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ****Вивчарь Р.М., Решетников Д.В., Пачин А.В., Поляков С.А.***ФГБВОУ ВО «ВКА имени А.Ф. Можайского» МО РФ, Санкт-Петербург,**e-mail: ramzec9322@rambler.ru*

Одним из показателей, характеризующих процесс применения технологического оборудования ракетно-космического комплекса, является вероятность подготовки и пуска ракеты космического назначения за заданное время. Проведенный анализ показывает, что в настоящее время вероятность подготовки и пуска ракеты космического назначения за заданное время зачастую не соответствует требуемым значениям. На этот показатель влияют параметры системы эксплуатации технологического оборудования ракетно-космического комплекса, от которых также зависит ресурсоемкость процесса подготовки ракеты космического назначения. Решить задачу обеспечения требуемого значения вероятности подготовки и пуска ракеты космического назначения за заданное время возможно проведением комплекса эксплуатационных мероприятий на основе подбора значений, влияющих на него параметров системы эксплуатации технологического оборудования ракетно-космического комплекса. При этом необходим научно-методический аппарат оценивания стоимости подготовки ракеты космического назначения. В статье представлена модель ресурсоемкости процесса подготовки ракеты космического назначения, которая позволяет оценить влияние параметров системы эксплуатации технологического оборудования ракетно-космического комплекса на стоимость процесса подготовки ракеты космического назначения. Представлены результаты оценки влияния этих параметров на стоимость процесса подготовки ракеты космического назначения на примере технологической операции технологического графика подготовки.

Ключевые слова: модель ресурсоемкости, система эксплуатации, технологическое оборудование, ракетно-космический комплекс

**MODEL THE INTENSITY OF THE PROCESS OF PREPARATION
OF A SPACE ROCKET****Vivchar R.M., Reshetnikov D.V., Pachin A.V., Polyakov S.A.***Mozhaisky Military Space academy, St. Petersburg, e-mail: ramzec9322@rambler.ru*

One of the indicators characterizing the process of using the technological equipment of the rocket and space complex is the probability of preparing and launching a space rocket for a given time. This indicator does not meet the required values. This indicator is influenced by the parameters of the system of operation of the technological equipment of the rocket and space complex, on which the resource intensity of the process of preparing a space rocket also depends. To solve the problem of ensuring the required value of the probability of preparation and launch of a space rocket for a given time, it is possible to carry out a set of operational activities based on the selection of values that affect it parameters of the system of operation of technological equipment of the space rocket complex. At the same time, a scientific and methodological apparatus for estimating the cost of preparing a space rocket is needed. The article presents a model of the resource intensity of the process of preparing a space rocket, which allows us to assess the impact of the parameters of the system of operation of technological equipment of the rocket and space complex on the cost of the process of preparing a space rocket. The results of the evaluation of the impact of these parameters on the cost of the process of preparing a space rocket on the example of the technological operation of the technological schedule of preparation are presented.

Keywords: resource-intensive model, operation system, technological equipment, rocket and space complex

Одним из показателей, характеризующих качество процесса применения технологического оборудования (ТлОб) по назначению, является вероятность подготовки и пуска ракеты космического назначения (РКН) за заданное время ($P_{\text{нп}}$). Требования к этому показателю задаются в тактико-техническом задании на ракетно-космический комплекс. Как показывает практика эксплуатации различных ракетно-космических комплексов (РКК), вероятность подготовки и пуска РКН зачастую не соответствует требуемым значениям. Решить задачу обеспечения требуемого значения этого показателя возможно проведением комплекса эксплуатационных

мероприятий на основе подбора значений, влияющих на него параметров системы эксплуатации ТлОб РКК. При этом необходимо отметить, что эти параметры влияют на суммарные эксплуатационные затраты на процесс подготовки РКН.

Современными экономическими требованиями различных руководящих документов определена необходимость снижения эксплуатационных затрат на эксплуатацию ВВТ, в том числе и космических средств. Так, система общих технических требований определяет: осуществлять эксплуатацию космических средств при минимальных материальных затратах, а одним из основных направле-

ний развития ВВТ на период до 2030 г. является рациональное расходование выделяемых ресурсов. Также требования по снижению эксплуатационных затрат на эксплуатацию ВВТ ставятся военно-политическим руководством страны. Поэтому целью исследования является снижение эксплуатационных затрат при обеспечении требуемой вероятности подготовки и пуска РКН за заданное время с помощью выработки комплекса эксплуатационных мероприятий на основе выбора оптимальных значений параметров СЭ ТлОб РКК. Для достижения данной цели необходим научно-методический аппарат оценивания стоимости процесса подготовки РКН к пуску. Анализ научно-методического обеспечения предметной области [1–3] показал, что в настоящее время создано множество моделей ресурсоемкости процессов функционирования сложных технических систем (СТС). Однако им присущ ряд недостатков таких как:

- невозможность точной оценки доли затрат на обеспечение уровня обученности личного состава боевого расчета, который непосредственным образом влияет на показатели качества процесса функционирования СТС.

- не учтены затраты на обеспечение времени экстренной доставки запасной части (ЗЧ).

В настоящей статье описана модель ресурсоемкости процесса подготовки и пуска РКН, которая позволит ликвидировать указанные недостатки и более точно оценить суммарные затраты на процесс подготовки и пуска РКН.

Подход к оцениванию стоимости процесса подготовки и пуска РКН

Суммарные затраты на обеспечение процесса подготовки и пуска РКН складыва-

ются из различных составляющих. Перечень этих составляющих приведен в табл. 1.

При этом стоит отметить, что управляемыми затратами на этапе эксплуатации технологического оборудования РКК являются: затраты на обеспечение комплектов ЗИП ($C^{ЗИП}$), затраты на обеспечение времени доставки ЗЧ ($C^{ДОС}$), затраты на обеспечение уровня обученности личного состава БР ($C^{БР}$), затраты на обеспечение периодичности контроля ТС ($C^{КТС}$).

Эти затраты зависят от параметров системы эксплуатации технологического оборудования РКК, таких как количество запасных частей (ЗЧ) элементов замены (ЭЗ) ТлОб; времена доставки ЗЧ ЭЗ; уровень обученности личного состава БР, характеризующийся временем устранения неисправности; период контроля технического состояния (ТС) ТлОб.

Эти параметры влияют и на надежный показатель процесса подготовки и пуска РКН – вероятность завершения этого процесса за заданное время [4].

Таким образом для оценивания эксплуатационных затрат на процесс подготовки РКН, а в дальнейшем для их снижения при обеспечении требуемого показателя надежности целесообразно модель ресурсоемкости представить в следующем виде:

$$C_{пп}^{\Sigma}(d_{imk}, t_{досimk}^{ож}, t_{устри}^{ож}, \tau_i) = C^{ЗИП}(d_{imk}) + C^{ДОС}(t_{досimk}^{ож}) + C^{БР}(t_{устри}^{ож}) + C^{КТС}(\tau_i), \quad (1)$$

где d_{imk} – количество ЗЧ k -го ЭЗ m -й составной части i -го вида ТлОб; $t_{досimk}^{ож}$ – среднее время доставки ЗЧ k -го ЭЗ m -й составной части i -го вида ТлОб; $t_{устри}^{ож}$ – среднее время устранения неисправности БР; τ_i – период контроля технического состояния i -го вида ТлОб.

Таблица 1

Суммарные затраты на обеспечение процесса подготовки и пуска РКН

ЗАТРАТЫ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДГОТОВКИ И ПУСКА РАКЕТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ			
$C^{ЗИП}$	Затраты на обеспечение комплектов ЗИП	$C^{МО}$	Затраты на метеорологическое обеспечение
$C^{ДОС}$	Затраты на обеспечение времени доставки ЗЧ	$C^{СОС}$	Затраты на обеспечение связью
$C^{БР}$	Затраты на обеспечение уровня обученности л/с БР	$C^{ОЭС}$	Затраты на обеспечение ЭМС и ПТСР
$C^{КТС}$	Затраты на обеспечение периодичности контроля ТС	$C^{МедО}$	Затраты на медицинское обеспечение
$C^{ОЭЭ}$	Затраты на обеспечение электроэнергией ПП РКН	$C^{ОЭБ}$	Затраты на обеспечение ЭБ ПП РКН
$C^{ОМС}$	Затраты на обеспечение МС	$C^{ЗГТ}$	Затраты на обеспечение ЗГТ
$C^{КР}$	Командировочные расходы	$C^{ГГ}$	Затраты на газы и ГСМ
$C^{БО}$	Затраты на баллистическое обеспечение	$C^{КРТ}$	Затраты на компоненты ракетного топлива

Для расчета затрат на обеспечение комплектов ЗИП удобно пользоваться выражением [5]:

$$C^{ЗИП}(d_{imk}) = \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{K_m} ((c_{imk}^{пок} + c_{imk}^{xp} + c_{imk}^{обсл})d_{imk}), \quad (2)$$

где $c_{imk}^{пок}$ – затраты на покупку ЗЧ k -го ЭЗ m -й СЧ i -го вида ТлОб; c_{imk}^{xp} – затраты на хранение ЗЧ k -го ЭЗ m -й СЧ i -го вида ТлОб; $c_{imk}^{обсл}$ – затраты на обслуживание ЗЧ k -го ЭЗ m -й СЧ i -го вида ТлОб. Затраты на обеспечение периодичности контроля технического состояния представим в виде выражения

$$C^{КТС}(\tau_i) = \sum_{i=1}^I c_i^{1K} \frac{8760}{\tau_i}, \quad (3)$$

где c_i^{1K} – затраты на проведение одного контроля ТС i -го вида ТлОб.

При этом вычисление c_i^{1K} производится с помощью выражения [5]:

$$c_i^{1K} = \sum_{j=1}^6 T_{ij} c_{ij}^T + \sum_{n=1}^N c_{in}^{ГСМ} n_{in}^{ГСМ} + c_i^{кВт} n_i^{кВт} + \sum_{g=1}^G c_{ig}^{ТМС} n_{ig}^{ТМС}, \quad (4)$$

где T_{ij} – суммарные трудозатраты на содержание j -й категории обслуживающего персонала (ОП) ($j = 1$ – старшие офицеры; $j = 2$ – младшие офицеры; $j = 3$ – прапорщики и сержанты; $j = 4$ – военнослужащие контрактной службы; $j = 5$ – военнослужащие по призыву; $j = 6$ – представители промышленности); c_{ij}^T – затраты на содержание j -й категории ОП в час; $c_{in}^{ГСМ}$ – стоимость единицы горюче-смазочных материалов (ГСМ) n -го наименования; $n_{in}^{ГСМ}$ – количество ГСМ n -го наименования; $c_i^{кВт}$ – стоимость одного кВт электроэнергии; $n_i^{кВт}$ – количество затрачиваемых кВт электроэнергии; $c_{ig}^{ТМС}$ – стоимость единицы технических материальных средств (ТМС) g -го наименования; $n_{ig}^{ТМС}$ – количество ТМС g -го наименования.

Исходные данные для вычисления c_i^{1K} берутся из инструкций по эксплуатации (ИЭ) и техническому обслуживанию (ИО).

Следующей составляющей затрат на процесс подготовки и пуска РКН являются затраты на обеспечение времени доставки ЗЧ ($C^{ДОС}$). Они зависят от вариантов доставки ЗЧ, которые в свою очередь определяют времена доставки ЗЧ. Для вычисления этих затрат используется выражение

$$C^{ДОСq}(t_{досimk}^{ож}) = \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{K_m} c_{imk}^{ДОСq}, \quad (5)$$

где $c_{imk}^{ДОСq}$ – стоимость q -го варианта доставки ЗЧ k -го ЭЗ m -й составной части i -го вида ТлОб.

Для удобства вычислений целесообразно данные о стоимостях вариантов доставки и соответствующих им времен доставки представлять в виде табл. 2. При этом под вариантом доставки понимается: доставка авиационным транспортом, железнодорожным, автомобильным или сочетанием этих видов доставок.

Таблица 2

Данные о стоимости и времени доставки

Вариант доставки	Среднее время доставки	Стоимость доставки
1	$t_{досimk}^{ож1}$	$c_{imk}^{ДОС1}$
2	$t_{досimk}^{ож2}$	$c_{imk}^{ДОС2}$
...
q	$t_{досimk}^{ожq}$	$c_{imk}^{ДОСq}$
...
Q	$t_{досimk}^{ожQ}$	$c_{imk}^{ДОСQ}$

Для примера опишем возможные варианты доставки ЗЧ с завода-изготовителя А к месту подготовки РКН Б:

1) пункт А – пункт В – авиационным транспортом, пункт В – пункт Б – автомобильным транспортом;

2) пункт А – пункт Г – железнодорожным транспортом, пункт Г – пункт Б – автомобильным транспортом;

3) пункт А – пункт Б – автомобильным транспортом.

Для расчета $c_{imk}^{ДОСq}$ используется выражение

$$c_{imk}^{ДОСq} = V_{imk} (c^{TP} \eta_{imk}^{TP} + c_{imk}^{ГР}), \quad (6)$$

где V_{imk} – объем доставляемых ЗЧ k -го ЭЗ m -ой СЧ i -го вида ТлОб; c^{TP} – нормативная удельная стоимость перевозки ЗЧ; η_{imk}^{TP} – коэффициент, учитывающий удорожание перевозки; $c_{imk}^{ГР}$ – удельная стоимость погрузочно-разгрузочных работ.

Для расчета затрат на обеспечение уровня обученности личного состава боевого расчета ($C^{БР}$) необходимо получить зависимость уровня обученности, характеризующегося временем устранения неисправности, от времени обучения номеров БР. В настоящее время для моделирования процесса обучения операторов практическим навыкам, к которым относится процесс устранения неисправностей, создано большое число различных моделей. Наиболее известными из них являются [6]: экспоненциальная модель, модель Р. Буша, модель К. Халла, модель Терстоуна.

Для получения зависимости среднего времени устранения неисправности БР от

времени обучения воспользуемся логистической моделью Р. Буша [3, 7]:

$$t_{устри}^{ож} = \frac{(t_{устри}^{ожн} t_{устри}^{ожк})}{t_{устри}^{ожн} + (t_{устри}^{ожк} - t_{устри}^{ожн}) e^{-y_i t_{оби}}}, \quad (7)$$

где $t_{устри}^{ожн}$ – начальный уровень обученности личного состава БР; $t_{устри}^{ожк}$ – конечный уровень обученности личного состава БР; y_i – неотрицательная константа, определяющая скорость изменения кривой обучения (скорость обучения); $t_{оби}$ – время обучения боевого расчета устранению неисправностей.

Затраты на обучение личного состава боевого расчета представим в виде выражения

$$C_{об}^{БР} = \sum_{i=1}^l c_i^{БР} t_{оби}, \quad (8)$$

где $c_i^{БР}$ – затраты на содержание командира БР i -го вида ТлОб в час.

Тогда с учетом выражения (7) затраты на обеспечение уровня обученности личного состава БР представим в виде выражения

$$C^{БР}(t_{устри}^{ож}) = \sum_{i=1}^l \left(-\frac{c_i^{БР}}{y_i} \ln \left(\frac{t_{устри}^{ожн} (t_{устри}^{ожн} - t_{устри}^{ож})}{t_{устри}^{ож} (t_{устри}^{ожк} - t_{устри}^{ожн})} \right) \right). \quad (9)$$

Для примера рассчитаем затраты на проведение технологической операции «Заправка расходного хранилища продуктом «О99» из ж\д заправщика» при различных параметрах СЭ ТлОб РКК. Так как сведения о процессе подготовки являются закрыты-

ми, то для демонстрации работы научно-методического аппарата представим исходные данные для расчетов в табл. 3 в условных единицах.

На рис. 1–2 показаны зависимости затрат на проведение ТехОп от указанных выше параметров системы эксплуатации.

Из рисунков видно, что наибольшее влияние на суммарные затраты на проведение ТехОп оказывает количество ЗЧ.

Адекватность полученной модели была проверена при сравнении результатов моделирования одного процесса подготовки РКН к пуску с реальной стоимостью подготовки РН «Союз-2.1а» с 1 ГИК МО РФ. В качестве исходных данных были взяты реальные стоимостные характеристики процесса подготовки РКН, а также значения параметров СЭ ТлОб РКК. Расхождение модельного результата с реальной стоимостью подготовки РКН составило 5–8%.

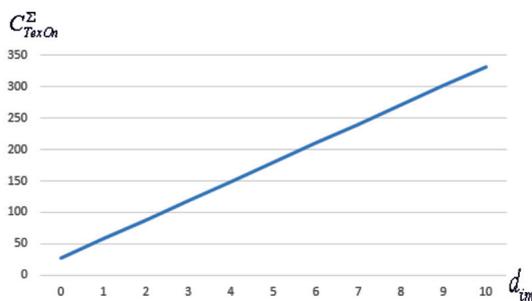
Заключение

В статье приведен научно-методический аппарат, позволяющий рассчитать суммарные затраты на процесс подготовки РКН, а также оценить влияние на эти затраты следующих параметров СЭ ТлОб РКК, таких как количество запасных частей (ЗЧ) элементов замены (ЭЗ) ТлОб; время доставки ЗЧ ЭЗ; уровень обученности личного состава БР, характеризующийся временем устранения неисправности; период контроля технического состояния (ТС) ТлОб.

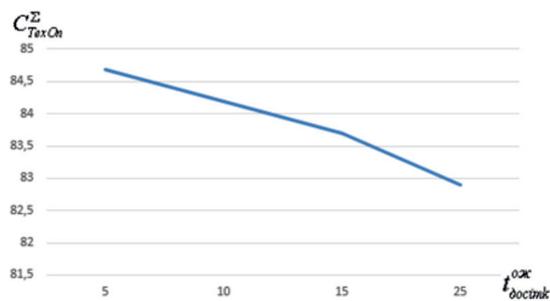
Таблица 3

Исходные данные для расчетов в условных единицах

$c_{имк}^{пок}$ у.е.	$c_{имк}^{xp}$ у.е.	$c_{имк}^{обсл}$ у.е.	c_{ij}^T у.е.	$c_{in}^{ПСМ}$ у.е.	$c_i^{РБт}$ у.е.	$c_{ig}^{ПМС}$ у.е.	c^{TP} у.е.	$\eta_{имк}^{TP}$	$c_{имк}^{ГР}$ у.е.	$t_{устри}^{ожн}$ час	$t_{устри}^{ожк}$ час	y_i	$c_i^{БР}$ у.е.
5	1	1	7,5	0,3	0,015	0,02	2,5	1	0,2	10	0,5	0,1	7,5
8	1	1	2,7	1		0,3							
6,5	1	1	1	1,4		0,8							
3	1	1	3,4	0,7		0,9							



а)



б)

Рис. 1. Зависимость затрат на проведение ТехОп от количества запасных частей каждой номенклатуры (а) и от времени доставки ЗЧ каждого ЭЗ (б)

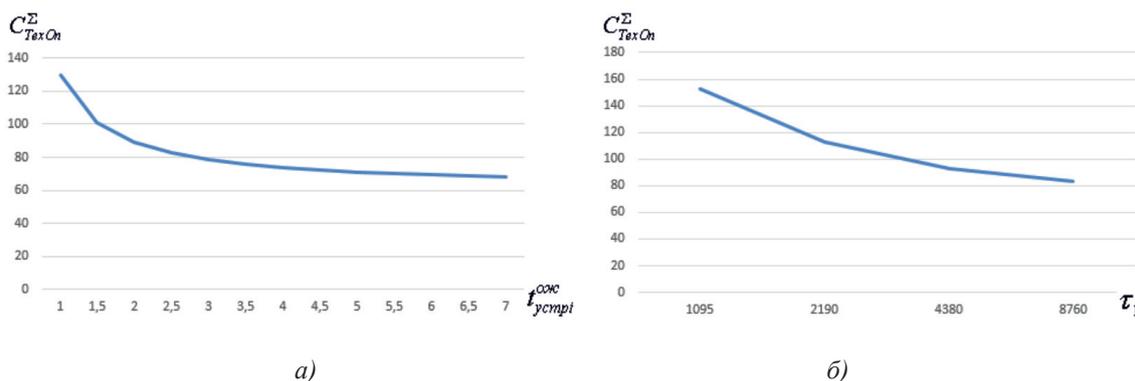


Рис. 2. Зависимость затрат на проведение *TechOn* от уровня обученности личного состава БР (а) и от периодичности контроля ТС Глоб, участвующего в проведении *TechOn* (б)

В свою очередь такая оценка позволит сформировать комплекс эксплуатационных мероприятий по снижению затрат на процесс подготовки РКН с сохранением требуемых показателей его качества.

Разработанная модель ресурсоемкости процесса подготовки и пуска РКН отличается от известных возможностью оценивания доли затрат на обеспечение уровня обученности личного состава БР и времени доставки ЗЧ из суммарных затрат на процесс подготовки РКН.

Список литературы

1. Вихров Н.М. Управление и принятие решений в производственно-технологических системах. СПб.: Политехника, 2013. 481 с.

2. Панкратов А.А., Капитанов С.В., Клепов А.В. Алгоритм анализа ресурсоемкости эксплуатационных процессов // Сборник алгоритмов и программ типовых задач. СПб.: МО, 2005. Вып. 24. 123 с.

3. Полянский Ю.В., Шабалкин Д.Ю., Левкина О.Ю. Минимизация ресурсоемкости производственного процесса изготовления литых заготовок на авиационном предприятии на основе математической модели // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. С. 269–273.

4. Вивчарь Р.М., Герасименко С.Ю., Решетников Д.В. Анализ подходов к обеспечению требуемой вероятности подготовки и пуска РКН за заданное время // Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем: сборник трудов XXXVII Всероссийской НТК. Ч. 5 / филиал ВА РВСН. Серпухов, 2018. С. 55–59.

5. Панкратов А.А., Клепов А.В. Математическая модель обеспечения запусков космических аппаратов // Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий эксплуатации наземных средств ракетно-космических комплексов: сборник трудов научной школы. МО РФ. 2004. 207 с.

6. Щербина И.С., Боровиков И.Г. Моделирование процесса освоения учебного материала личным составом боевого расчета частей запуска космических аппаратов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2017. Вып. № 659. С. 194–201.