

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СТРАНЫ

УДК 658.51+629.7

ОСОБЕННОСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СРОКОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАКАЗА НА РАЗРАБОТКУ НОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

И.В. Минаев, Т.И. Переходова
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)
В.Ю. Анисимов
(ВА РВСН им. Петра Великого)

Рассматривается методический подход к определению времени осуществления заказа на разработку нового образца космической техники, учитывающий риски, обусловленные случайностью и неопределенностью нарушения структуры основных этапов жизненного цикла изделий и систем.

Ключевые слова: космическая техника, риски (производственные и структурные), минимизация рисков, потери эффективности системы в зависимости от рисков, теория выработки решений, жизненный цикл изделия (системы), случайность и неопределенность жизненного цикла.

В статье рассматривается методический подход к определению времени осуществления заказа на разработку нового образца космической техники T_p , учитывающий риски, обусловленные рассогласованием сроков создания данного образца и вывода его из состава существующей (заменяемой) системы T_r . Под образцом в исследуемой ситуации может рассматриваться отдельный КА или совокупность КА (в случае, например, состава орбитальной группировки), создаваемые или модернизируемые системы и подсистемы КА и т. д.

Возникновение фактора рискованной ситуации T_p поясняется на рис. 1, где $T_{\text{заказ}}$ – момент начала разработки системы (момент осуществления заказа на создание системы); $T_{\text{окон}}$ – момент окончания разработки системы и готовность данной системы быть введенной в проект; $T_{\text{снят}}$ – момент вывода из функционирующего состава заменяемой системы; $\tau_{\text{созд}}$ – продолжительность создания новой системы.

Отметим, что для систем, состоящих из достаточно большого числа образцов, данные времена определяются по первому снимаемому с эксплуатации и заменяемому образцу.

Для космической техники характерна ситуация, когда один КА может определять функционирование практически всей космической системы (КС). Поэтому вопрос об определении сроков осуществления заказа на создание системы рассматривается применительно к простейшей ситуации одного образца.

В зависимости от реальной обстановки принципиально может быть три ситуации (исхода) принятия решения на создание нового образца $\Delta T = T_{\text{окон}} - T_{\text{снят}}$: 1) $T_{\text{окон}} > T_{\text{снят}}$; 2) $T_{\text{окон}} = T_{\text{снят}}$; 3) $T_{\text{окон}} < T_{\text{снят}}$.

В первом случае (ситуация 1) завершение технологического цикла изготовления изделия наступает на $\Delta T_1 = T_{\text{окон}} - T_{\text{снят}}$, т. е. позже времени планового снятия заменяемого образца. При этом могут предприниматься меры для постгарантированной эксплуатации системы с качеством ниже требуемого уровня, либо элемент системы директивно снимается с эксплуатации, и тем самым снижаются возможности всей системы до завершения создания заменяемого образца и ввода его в эксплуатацию.

Второй случай (ситуация 2) – идеальный вариант проектирования.

В третьем случае (ситуация 3) завершение создания новой системы наступает на $\Delta T_2 = T_{\text{снят}} - T_{\text{окон}}$, т. е. раньше времени планового вывода образца из состава заменяемой системы. При этом заменяемая система может быть снята с эксплуатации раньше своего планового срока, либо новая система будет сохраняться до наступления планового срока снятия заменяемой системы.

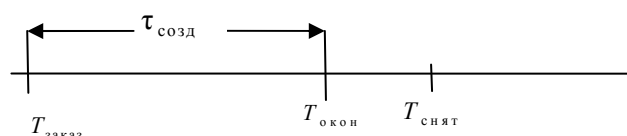


Рис. 1. Возникновение фактора рискованной ситуации

Таким образом, первая и третья ситуации характеризуются определенными потерями, которые могут выражаться снижением эффективности функционирования системы (ситуация 1), а также дополнительными затратами либо на хранение разработанного образца, либо в силу более раннего снятия заменяемого образца (ситуация 3).

Будем полагать, что потери для данных ситуаций можно выразить в единой шкале и оценить их в зависимости от продолжительности периода рассогласования моментов завершения создания новой системы вооружения и снятия с эксплуатации заменяемой системы ($\Delta T_1, \Delta T_2$).

Обозначим через $C^1(\Delta T_1)$ величину возможных потерь для ситуации 1, а через $C^2(\Delta T_2)$ – величину возможных потерь для ситуации 3. Введем переменную $t = T_{\text{окон}} - T_{\text{снят}}$, определяющую продолжительность периода рассогласования, и выразим функцию потерь в зависимости от t следующим образом:

$$C(t) = \begin{cases} C^1(t) & \text{при } t \geq 0; \\ C^2(-t) & \text{при } t < 0. \end{cases}$$

На рис. 2 представлен типичный вид функции $C(t)$.

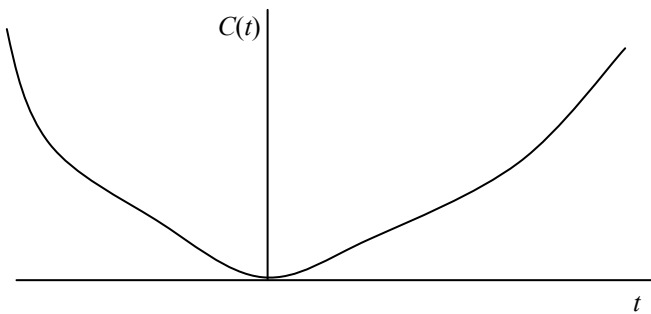


Рис. 2. Типичный вид функции $C(t)$

Неопределенность продолжительности периода рассогласования является источником формирования риска проектирования, определяемым величиной ожидаемых потерь [1]. Тогда задача управления рисками в рассмотренных условиях проектирования может рассматриваться как задача определения оптимального времени начала разработки $T_{\text{заказ}}^*$, при котором достигаются минимальные возможные потери, т. е. минимизируется риск.

Величина риска определяется как математическое ожидание потерь, определяемых функцией $C(t)$:

$$R = \int_{-\infty}^{+\infty} C(t)f(t)dt,$$

где $f(t)$ – плотность распределения продолжительности рассогласования моментов создания нового образца и снятия заменяемого образца с эксплуатации:

$$t = T_{\text{заказ}} + \tau_{\text{созд}} - T_{\text{снят}}.$$

Продолжительность периода создания образца является случайной величиной, зависящей от совокупности факторов [2].

Полагая, что известна плотность распределения времени создания образца, не зависящая от момента времени начала работ $f(\tau_{\text{созд}})$, рассмотрим случай, когда $T_{\text{снят}}$ является детерминированной величиной.

Тогда можно найти величину ожидаемых потерь – риск от принятия решения о начале создания нового образца по следующей зависимости:

$$R(T_{\text{заказ}}) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(T_{\text{заказ}} + \tau_{\text{созд}} - T_{\text{снят}})f(\tau_{\text{созд}})d\tau_{\text{созд}},$$

а оптимальное время $T_{\text{заказ}}^*$ определить из условия $dR(T_{\text{заказ}})/dT_{\text{заказ}} = 0$.

Полученное общее выражение для определения $T_{\text{заказ}}^*$ в зависимости от вида функции потерь исследовалось, в частности, для случая, когда функции потерь являются линейными с коэффициентами k_1 и k_2 соответственно. В этом случае анализируемое выражение будет иметь следующий вид:

$$-k_2 F(T_{\text{снят}} - T_{\text{заказ}}) + k_1 (1 - F(T_{\text{снят}} - T_{\text{заказ}})) = 0,$$

где $F(T_{\text{снят}} - T_{\text{заказ}})$ – значение функции распределения продолжительности создания нового образца – величины $T_{\text{снят}} - T_{\text{заказ}}$.

При этом оптимальное время $T_{\text{заказ}}^*$ определяется из условия

$$F(T_{\text{снят}} - T_{\text{заказ}}) = \frac{k_1}{k_1 + k_2}.$$

Обозначив отношение k_1 к k_2 через r , окончательно получим

$$T_{\text{заказ}}^* = T_{\text{снят}} - F^{-1}\left(\frac{1}{1+r}\right), \quad (1)$$

где $F^{-1}(p)$ – квантиль функции распределения продолжительности создания нового образца.

Выражение (1) позволяет оценить время проектирования при линейных видах функции потерь, плановом значении времени замены образца и заданном виде закона распределения случайного времени создания новой образца.

На рис. 3 представлены зависимости времени $T_{\text{заказ}}^*$ от величины r и параметров закона распределения s . В качестве закона распределения времени создания нового образца принято гамма-распределение с параметром масштаба $s > 0$.

Оценить величину минимального риска можно по зависимости

$$R_{\text{мин}} = k_1 \int_{F^{-1}\left(\frac{1}{1+r}\right)}^{\infty} \tau_{\text{созд}} f(\tau_{\text{созд}}) d\tau_{\text{созд}} - k_2 \int_0^{F^{-1}\left(\frac{1}{1+r}\right)} \tau_{\text{созд}} f(\tau_{\text{созд}}) d\tau_{\text{созд}}.$$

На рис. 4 представлена зависимость изменения величины минимального риска $R_{\text{мин}}$ от параметров закона распределения s при различных значениях коэффициентов k_1 и k_2 .

Анализ представленных зависимостей показывает, что оптимальное время проектирования нового образца существенным образом зависит от характера изменений потерь, обусловленных либо опережением сроков создания системы, либо задержкой ввода в строй новой системы.

При этом, в зависимости от соотношений темпов возрастания потерь (см. рис. 3), оптимальное время формирования заказа на проектирование либо отдалается от планового срока

снятия с эксплуатации (для случая, когда темпы роста затрат на хранение созданного образца меньше потерь от снижения эффективности системы после планового срока снятия с эксплуатации, $r < 1$), либо приближается к этому сроку в противном случае.

Характер зависимости оптимального времени осуществления заказа от параметра масштаба закона распределения времени создания нового образца определяется, прежде всего, величиной r .

При этом, чем больше значение величины параметра масштаба, тем раньше необходимо осуществлять заказ на создание нового образца.

Таким образом, разработанный методический

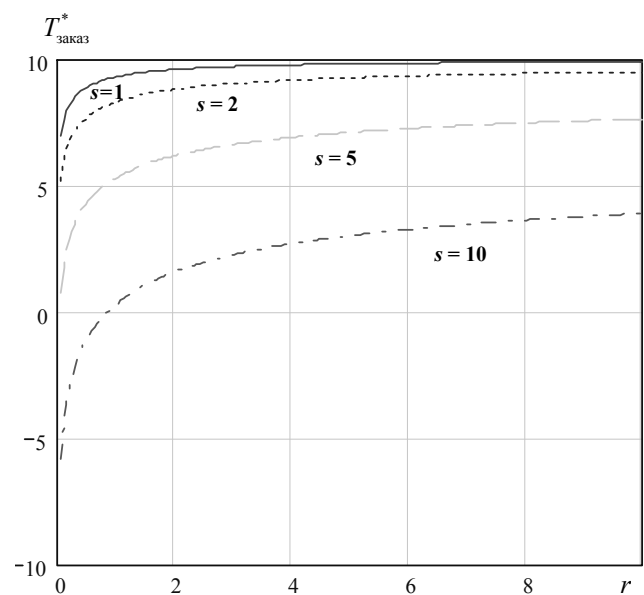


Рис. 3. Зависимость времени $T_{\text{заказ}}^*$ от r и s : — — $t_{\text{мин}}(1, r)$; — $t_{\text{мин}}(2, r)$; - - - — $t_{\text{мин}}(5, r)$; - . . - — $t_{\text{мин}}(10, r)$

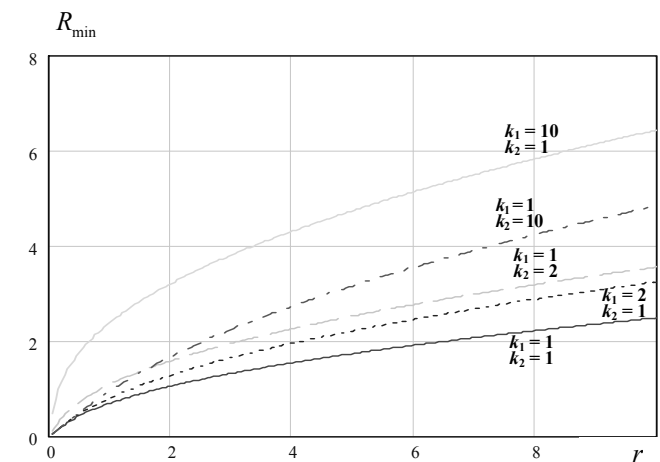


Рис. 4. Зависимость изменения $R_{\text{мин}}$ от s : — — $-f_1(s, 1, 1)$; — $-f_1(s, 1, 2)$; - - - — $-f_1(s, 2, 1)$; - . . - — $-f_1(s, 1, 10)$; — — — $-f_1(s, 10, 1)$

подход к рациональному планированию сроков осуществления заказа на разработку нового образца позволяет производить оценку рисков принятия решений и выбирать такие сроки формирования заказа, которые обеспечивают минимальные потери, обусловленные рассогласованием времени создания новых и снятия с эксплуатации заменяемых образцов космической техники.

Литература

1. Подиновский В.В. Математическая теория выработки решений в сложных ситуациях: учебник / В.В. Подиновский. – М.: МО СССР, 1981. – 211 с.
2. Балдин К.В. Моделирование жизненного цикла систем вооружения. – М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 1999. – Вып. 1. – 132 с.

Поступила в редакцию 07.05.2009

Игорь Викторович Минаев, д-р техн. наук, советник, т. 625-24-18, e-mail:vniiem@orc.ru.
Татьяна Игоревна Переходова, аспирант, начальник сектора, т. 624-74-12, e-mail:vniiem@orc.ru.
Владимир Юрьевич Анисимов, начальник отдела, т. 8-910-405-54-44.